الفصل الثالث

إداء محركـــات البنزيـــن والديـــزل

Petrol and diesel engines operation

الفصل الثالث
Chapter 3

إداء محركات البنزين والديزل
Petrol and Diesel Engines Operation

❖ 3.1 المقدمة Introduction

تعرضنا في الفصل السابق الى أجزاء محركات البترين والديزل اللذان يتشابهان الى حدٍ كبير من حيث التركيب الميكانيكي مع وجود بعض الاختلافات البسيطة. إلا أنهما يختلفان بقوة المواد التي تدخل في تركيبها وذلك يعود الى طبيعة عملٍ كل منهما. فمحركات البترين لا تحتاج الى ضغط عالي داخل أسطواناتها مقارنةً مع محركات الديزل لكونها تحرق الوقود بواسطة الشرارة لهذا لا تحتاج الى أجزاء ذات متانة عالية بينما محركات الديزل تحتاج الى هذه المتانة بسبب الضغط والحرارة العاليين اللتان تتعرض لهما.

إن محركات البترين والديزل يعملان بمبدئين مختلفين فمحركات البترين تعمل بمبدأ أوتو (Otto principle) والذي يتضمن سحب الخليط وضغطة ثم حرقة بواسطة الشرارة الكهربائية ومن ثم طرد العادم. إما محركات الديزل فتعمل بمبدأ ديزل (Diesel principle) الذي يتضمن سحب هواء فقط الى داخل الأسطوانة ثم ضغطة لرفع درجة حرارته وحقن الوقود داخل الهواء الساخن لحرقة لتحرير الطاقة الموجودة فيه ثم يطرد العادم الناتج من عملية حرق الوقود. يطلق على هذين المبدئين بدورتي أوتو وديزل المثاليتين(Otto and diesel Cycles) على التوالي.

في هذا الفصل سوف نتعرض الى هذين المبدئين والعوامل المؤثرة عليهما فضلاً عن العلاقات بين الضغط داخل الأسطوانة وحجمها ودوران عمود المرفق ولكلا النوعين من المحركات. كما نتطرق الى أسباب تعدد الأسطوانات في المحرك وأهمية الدولاب الطيار فضلاً عن مبدأ توقيت الصمامات.

❖ 3.2 تعاريف تتعلق بدورة المحرك

Definitions Relating To The Engine Cycles

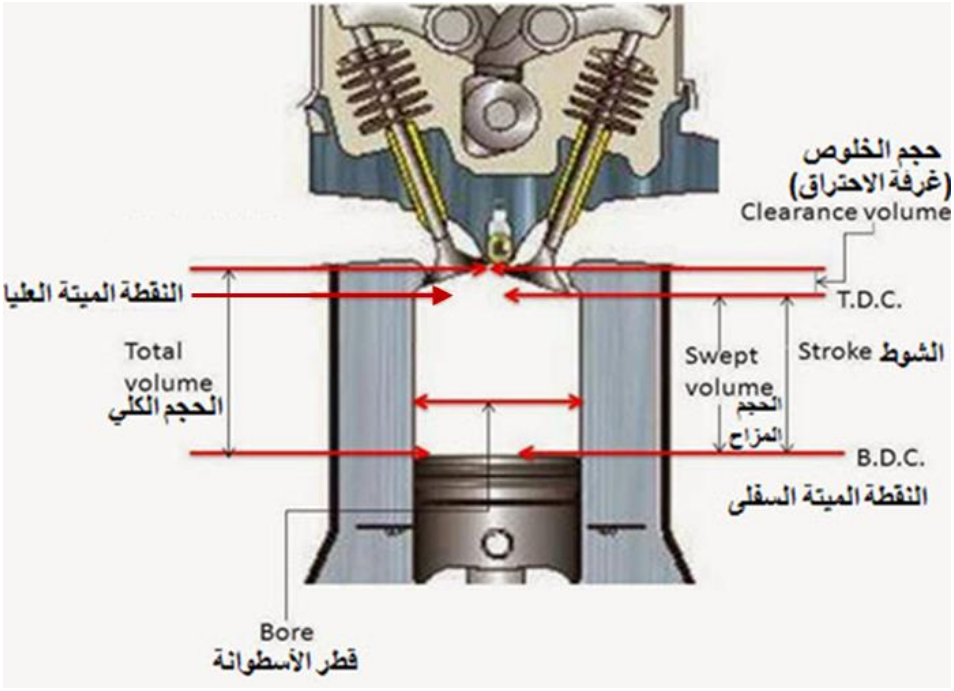
قبل التعرض للمبدأ الذي تعمل علية المحركات يجب التعرض بعض المصطلحات التي تساعد على فهم ما يجري داخل الأسطوانة والمدى الذي يتحرك ضمنه المكبس صعوداً ونزولاً داخلها والحجم الذي يزيحه. ومن هذه التعاريف هي (شكل 3.1):

1. **النقطة الميتة العليا: Top Dead Point (TDP)**

وهي أعلى نقطة يصلها المكبس داخل الأسطوانة وسرعته عندها صفراً ويغير أتجاه حركته من الأعلى إلى الأسفل. يطلق عليها بعض الاحيان Top Dead Center (TDC).

2. **النقطة الميتة السفلى: Bottom Dead Point (BDP)**

وهي أدنى نقطة يصلها المكبس داخل الأسطوانة وسرعته عندها صفراً ويغير أتجاه حركته من الأسفل إلى الأعلى. يطلق على هذه النقطة بعض الأحيان (Bottom Dead Center) (BDC)



شكل (3.1) : حجم الأسطوانة والحجم المزاح وحجم غرفة الاحتراق.

3. **الشوط**: **Stroke**

هو المسافة التي يقطعها المكبس بين النقطة الميتة السفلى والنقطة الميتة العليا أو بالعكس وتساوي ضعف نصف قطر عمود المرفق (crank radius *2).

4. **الحجم المزاح:** **Swept Volume**

هو الحجم الذي يزيحه المكبس بين النقطة الميتة العليا والنقطة الميتة السفلى ويمكن حسابه من المعدلة (3.1).

مساحة قاعدة الاسطوانة (A)

$A = \pi r^2$ .....(3.1)

إذ أن: A = مساحة قاعدة الأسطوانة (m^2)

r = نصف قطر قاعدة الأسطوانة (bore) (m)

يعبر عن نصف قطر الأسطوانة بالمعادلة (3.2).

$r=D/2$ .....(3.2)

يعبر عن الحجم المزاح داخل الأسطوانة الواحدة بالمعادلة (3.3).

$V_S=A*S$ .....(3.3)

وبتعويض المعادلتين (3.1) و (3.2) في المعادلة (3.3) عندها يعبر عن V_S بالمعادلة (3.4).

$$V_S = \frac{\pi}{4} D^2 * S$$ .....(3.4)

إذ أن: D = قطر الأسطوانة (m)

S = طول الشوط (m)

5. **حجم غرفة الاحتراق (حجم الخلوص) :** **Clearance Volume (Vc)**

وهو حجم الأسطوانة المحصور بين النقطة الميتة العليا (TDP) ورأس الأسطوانة وتتم فيه عملية حرق الوقود.

6. **الحجم الكلي للأسطوانة** **Total Volume (Vt)**

وهو الحجم الكلي للأسطوانة الذي يتضمن الحجم المزاح زائداً حجم غرفة الاحتراق أي حجم الأسطوانة المحصور بين النقطة الميتة السفلى ورأس الأسطوانات (الحجم الفعال من الأسطوانة). ويعبر عن الحجم الكلي للأسطوانة بالمعادلة (3.5)

$V_t = Vs + Vc$ .....(3.5)

7. نسبة الانضغاط Compression Ratio (CR)

وهي النسبة بين حجم الاسطوانة الكلي وحجم غرفة الاحتراق. تتراوح هذه النسبة في محركات الاحتراق بالشرارة بين 5:1-9:1 وقد تصل في بعض أنواع محركات البترين الى 12:1 بينما في محركات الاحتراق بالضغط تتراوح بين 16:1–26:1 وتصل في بعض أنواع محركات الديزل إلى 28:1. تلعب نسبة الانضغاط دوراً رئيسياً بتحديد درجة الحرارة داخل الأسطوانة ومن ثم سرعة الاحتراق. وعند المقارنة بين النوعين من المحركات نلاحظ أن نسبة الانضغاط في محركات الديزل هي ثلاثة إضعاف نسبة الانضغاط في محركات البترين. لهذا تكون درجة الحرارة في نهاية شوط الضغط في محركات الديزل أعلى بكثير منها في محركات البترين إذ تبلغ في محركات الديزل 600-(650)^{0}C بينما في محركات البترين (250-300)^{0}C. هذا التفاوت الكبير في درجات الحرارة يعود للاختلاف في قابلية وقود كليهما على الاحتراق ففي حالة وقود الديزل والذي يعتبر وقوداً ثقيلاً وتبخره بطيئاً يحتاج إلى حرارة عالية بينما وقود البترين يحتاج إلى حرارة أوطئ بسبب انخفاض درجة أتقاده وسهولة تبخرة. يعبر عن نسبة الانضغاط بالمعادلة (3.6).

$$CR = \frac{V}{V_C} \qquad \text{.....(3.6)}$$

وبتعويض المعادلة (3.5) في المعادلة (3.6) عندها يعبر عن نسبة الانضغاط بالمعادلة (3.7).

$$CR = \frac{V + V_C}{V_C} = 1 + \frac{V}{V_C} \qquad \text{.....(3.7)}$$

❖ 3.3 دورة أوتو المثالية للمحركات رباعية الأشواط

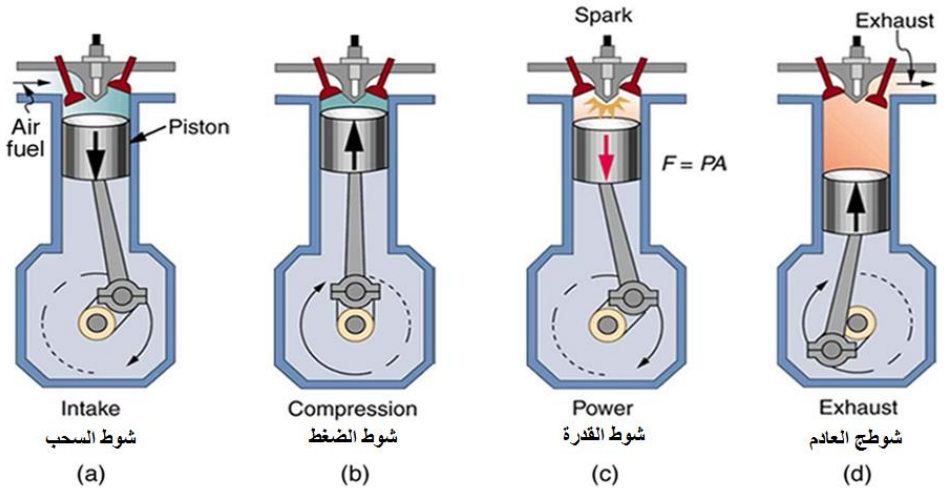
Ideal Otto Cycle For Four Strokes Engine

تضم دورة أوتو المثالية للمحركات الرباعية الأشواط أربعة أشواط والموضحة في الشكل (3.2) وهذه الأشواط هي:

1. شوط السحب (Inlet) Intake Stroke

ينفتح صمام السحب في هذا الشوط ويترل المكبس من النقطة الميتة العليا الى النقطة الميتة السفلى فيزداد حجم الأسطوانة مسبباً تخلل الضغط داخلها فيصبح أقل من الضغط الجوي. ونتيجة انخفاض الضغط يندفع خليط من الهواء والوقود (Air+fuel) إلى داخل

الأسطوانة وتستمر عملية دخول الخليط مع نزول المكبس باتجاه النقطة الميتة السفلى وعند وصول المكبس إلى هذه النقطة يغلق صمام السحب. وعندها يفترض امتلاء الأسطوانة بالخليط بصورة كاملة.



شكل (3.2) **: دورة أوتو المثالية للمحركات رباعية الأشواط**

2. **شوط الضغط** Compression Stroke

في هذا الشوط يغلق صمامي السحب والعادم ويبدأ المكبس بالصعود إلى الأعلى من النقطة الميتة السفلى الى النقطة الميتة العليا فيقل حجم الأسطوانة ويزداد الضغط فيها فترتفع درجة حرارة الخليط كلما تقدم المكبس نحو النقطة الميتة العليا. وعند وصول المكبس الى النقطة الميتة العليا ترتفع درجة الحرارة والضغط ليصلا الى ^{0}C(250-300) و MN/m^2(2.3-2.4) ($MN=10^6N$) على التوالي. وبصول المكبس الى النقطة الميتة العليا ينتهي شوط الضغط.

3. **شوط القدرة** Power Stroke

عند نهاية شوط الضغط وقبل وصول المكبس إلى النقطة الميتة العليا بست درجات لدوران عمود المرفق تتولد شرارة spark من شمعة القدح عندها يحترق الوقود بسرعة هائلة. ترتفع درجة الحرارة لتصل بحدود ^{0}C1200 وفي بعض المحركات السريعة تصل بحدود ^{0}C2500. أما الضغط فيرتفع الى MN/m^2 3.4-3.5 وعندها يندفع المكبس إلى الأسفل بسرعة عالية نتيجة الضغط الكبير محولاً الطاقة الحرارية للوقود إلى طاقة ميكانيكية. وبوصول المكبس إلى النقطة الميتة السفلى ينتهي شوط القدرة.

4. شوط العادم Exhaust Stroke

عندما ينتهي شوط القدرة يبدأ شوط العادم الذي ينفتح فيه صمام العادم ويتحرك المكبس من النقطة الميتة السفلى إلى النقطة الميتة العليا. نتيجة حرق الوقود في شوط القدرة يبقى الضغط داخل الأسطوانة أعلى من الضغط الجوي وبصعود المكبس الى الأعلى يندفع العادم إلى الخارج بسرعة عالية وتستمر عملية خروجه حتى وصول المكبس إلى النقطة الميتة العليا وعندها تتخلص الأسطوانة من العادم أو الجزء الأعظم منه ثم تبدأ دورة أخرى.

تكمل دورة المحرك والتي تتضمن الأشواط الأربعة التي ذكرت سابقاً بدورتين لعمود المرفق أي بـــ 720^0. وهذا يعني أن كل شوط من أشواط الدورة يأخذ نصف دورة من دورات عمود المرفق (180^0). إما عمود الكامات الذي يقوم بفتح وغلق الصمامات يدور دورة واحدة (360^0) لكل دورتين من دورات عمود المرفق.

❖ 3.4 دورة ديزل المثالية للمحركات رباعية الأشواط

Ideal Diesel Cycle For Four Strokes Engines

تماثل دورة ديزل المثالية دورة أوتو للمحركات رباعية الأشواط إلا أن هناك بعض الاختلافات بينهما والتي سوف تذكر ضمن الأشواط الأربعة لدورة ديزل المثالية (شكل 3.3) والتي هي:

1. شوط السحب Inlet Stroke

لا يختلف شوط السحب في دورة ديزل المثالية عن شوط السحب في دورة أوتو المثالية إلا أنه في محركات الديزل يدخل الهواء فقط في الاسطوانات بدلاً من خليط الهواء والوقود الذي يدخل في أسطوانات محركات البترين. إما عملية فتح وغلق صمام السحب وحركة المكبس فهما مماثلان لما هو في شوط السحب في دورة أوتو المثالية.

2. شوط الضغط Compression Stroke

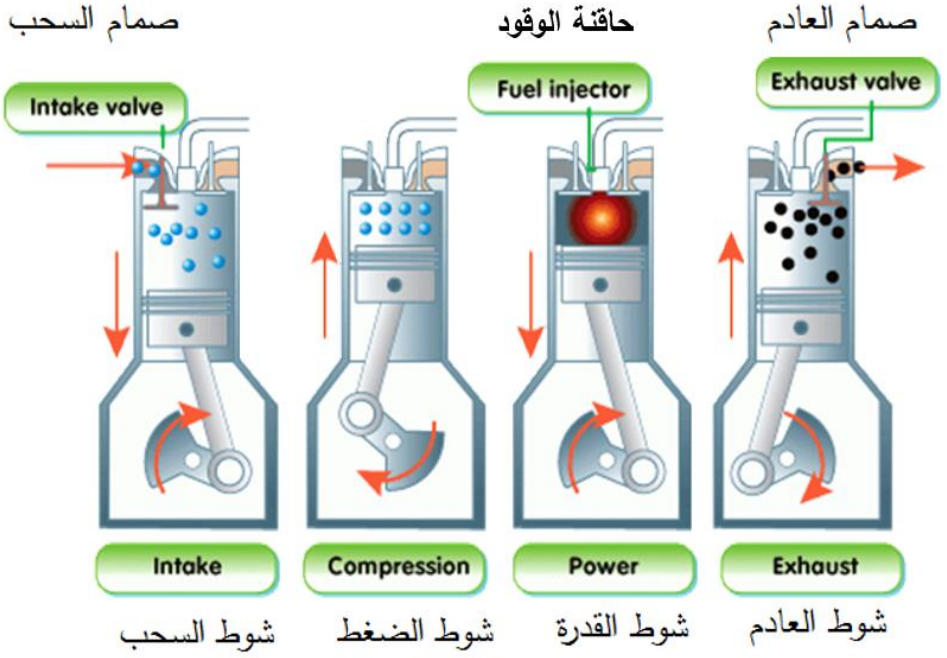
في هذا الشوط يندفع المكبس من النقطة الميتة السفلى الى النقطة الميتة العليا فيقل حجم الأسطوانة ويرتفع الضغط فيها ليبلغ عند نهاية الشوط بحدود $3.4\text{-}3.5MN/m^2$ وهو أعلى مما هو علية في محركات أوتو. كما ترتفع درجة الحرارة لتصل بحدود 600- 650^0C وهي أعلى من تلك في محركات البترين بنسبة 2.1 تقريباً وبوصول المكبس الى النقطة الميتة العليا ينتهي شوط الضغط.

3. شوط القدرة Power Stroke

في هذا الشوط يحقن الوقود بشكل رذاذ بواسطة الحاقنات داخل الهواء الساخن إذ توجد حاقنة واحدة في كل أسطوانة. يُحقن الوقود قبل وصول المكبس إلى النقطة الميتة العليا وبمقدار $10\text{-}15^0$ درجة من درجات دوران عمود المرفق وتزداد هذه الفترة مع زيادة سرعة المحرك لتصل في بعض المحركات الى 30^0. عند احتراق الوقود ترتفع درجة الحرارة بحدود $1200\text{-}1500^0C$ وفي المحركات السريعة تصل الى 2500^0C. كما يرتفع الضغط إلى $6.7\text{-}6.8\ MN/m^2$ تقريباً مسبباً دفع المكبس الى الأسفل بسرعة عالية.

4. شوط العادم Exhaust Stroke

يماثل هذا الشوط شوط العادم في دورة أوتو المثالية وفيه يصعد المكبس من النقطة الميتة السفلى الى النقطة الميتة العليا وبصعوده الى الأعلى يرتفع الضغط داخل الاسطوانة مضافاً أليه الضغط المتبقي في الأسطوانة نتيجة حرق الوقود مسبباً اندفاع العادم الى خارج الأسطوانة. بوصول المكبس الى النقطة الميتة العليا ينتهي شوط العادم ويفترض أن الأسطوانة تخلصت من العادم وعندها يُكمل المحرك دورة واحدة والتي تساوي دورتين لعمود المرفق ودورة واحدة لعمود الكامات.

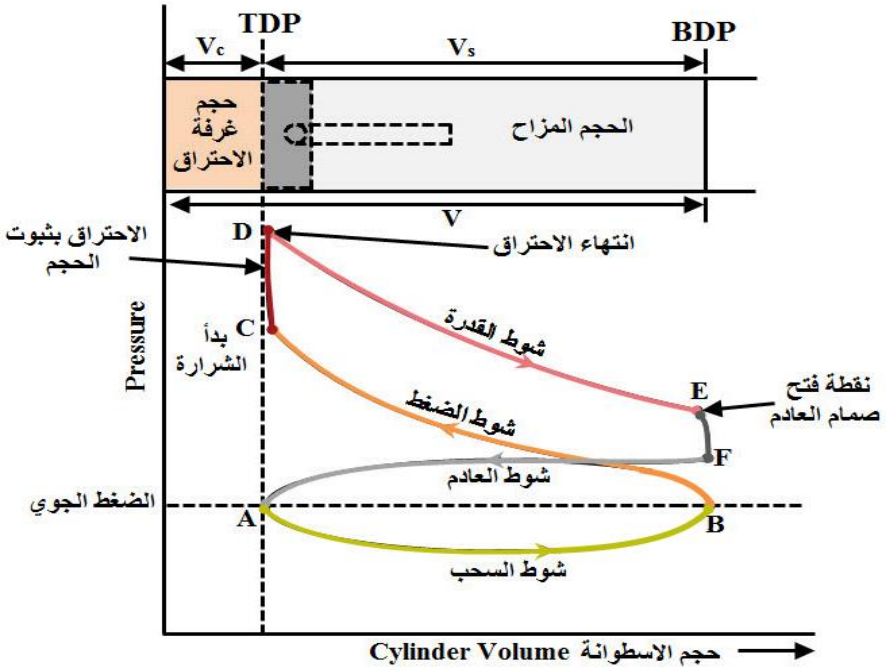


شكل (3.3) **: دورة ديزل المثالية للمحركات رباعية الأشواط.**

❖ 3.5 العلاقة بين الضغط وحجم الأسطوانة لدورة أوتو المثالية رباعية الأشواط

The Relationship between The Pressure And The Volume Of The Cylinder For Otto Cycle

يتغير الضغط داخل الأسطوانة مع تغيير الحجم إلا أن هذا التغيير يختلف من شوط إلى أخر ويحدث التغير بالحجم باستمرار مع تحرك المكبس داخل الاسطوانة صعوداً ونزولاً بين النقطتين الميتتين العليا والسفلى (TDP وBDP).



شكل (3.4) **: العلاقة بين الضغط وحجم الأسطوانة لدورة أوتو المثالية (الاحتراق بثبوت الحجم)**

وهذا يعني أن التغير بالضغط يحدث ضمن هذا الحجم الذي يطلق عليه الحجم المزاح إذ يصبح في بعض الأحيان تحت الضغط الجوي وفي أحيان آخري أعلى منه بكثير كما يوضحه الشكل (3.4). فعند نزول المكبس من النقطة TDP الى BDP في شوط السحب ينخفض الضغط داخل الأسطوانة الى ما تحت الضغط الجوي ممثلاً بالمنحني AB عندها يتدفق الخليط الى داخل الأسطوانة بفعل الضغط الجوي وعند وصول المكبس الى النقطة BDP ممثلة بالنقطة B ينتهي شوط السحب ويفترض امتلاء الأسطوانة بالخليط بصورة تامة. بعدها يبدأ شوط الضغط الذي يصعد فيه المكبس الى النقطة TDP فيقل الحجم داخل الأسطوانة ويزداد الضغط وبوصول المكبس إلى النقطة C والتي تقع قبل النقطة

TDP تتولد الشرارة بواسطة شمعة القدح فيحترق الوقود وبسرعة عالية جداً فيزداد الضغط بصورة مفاجئة وكبيرة ويبقى الحجم ثابتاً تقريباً (احتراق بثبوت الحجم). إن السبب في زيادة الضغط بصورة مفاجئة هي نتيجة السرعة العالية التي يحترق فيها وقود البترين بسبب سرعة تبخره والتي تُزيد من قابليته على الاشتعال. إن احتراق الوقود يتم بسرعه فائقة قبل أن يتحرك المكبس مسافة يتغير فيه الضغط داخل الأسطوانة لهذا يبقى الحجم ثابتاً تقريباً ممثلاً بـــالخط CD.

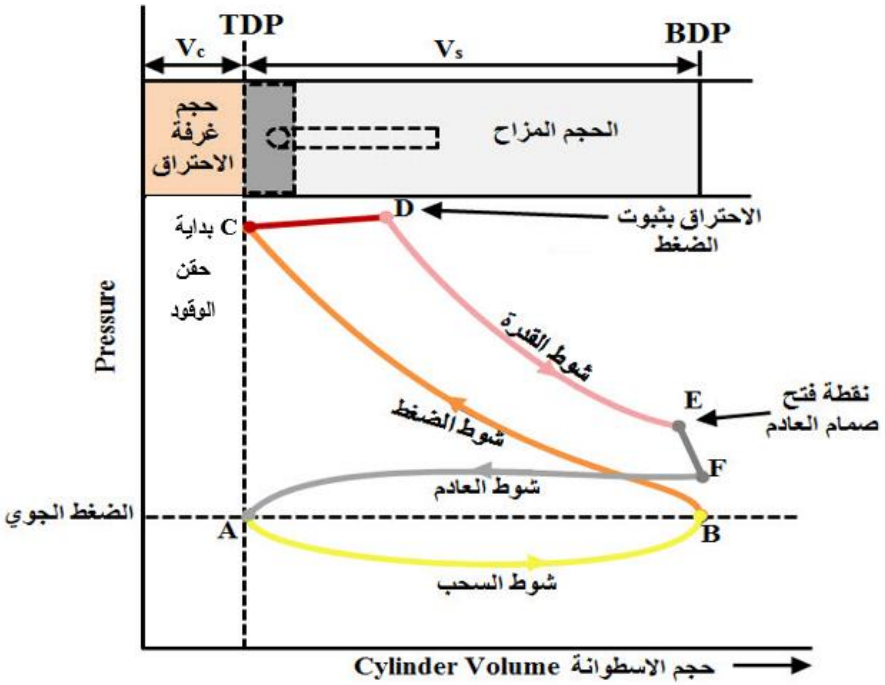
وعند وصول الضغط الى أقصى قيمة له عند النقطة (D) يبدأ شوط القدرة والذي يزداد فيه الحجم نتيجة نزول المكبس من النقطة TDP الى النقطة BDP فينخفض الضغط. وقبل أن يكتمل شوط القدرة بزاوية مقدارها 45^0 من دوران عمود المرفق (النقطة E) (أي أن المكبس قطع مسافة تعادل 135^0 من درجات شوط القدرة والبالغة 180^0) ينفتح صمام العادم لطرد جزء من العادم قبل أن يغير المكبس اتجاهه وذلك باستغلال الضغط المتبقي من شوط القدرة والذي هو أعلى بكثير من الضغط الجوي. إن الضغط المتبقي في الربع الأخير من شوط القدرة داخل الأسطوانة لا يمكن الاستفادة منة بدفع المكبس بسبب انخفاض قيمته مقارنةً بالضغط عند النقطة TDP لحظة حدوث الاحتراق ومع الضغط في النصف الاول من شوط القدرة. أن فتح صمام العادم مبكراً (النقطة E) يؤدي الى خفض الضغط بصورة كبيرة ممثلاً بـــEF بسبب اندفاع كمية كبيرة من العادم خارج الأسطوانة. كما يؤدي طرد جزء من العادم مبكراً الى تقليل مساحة الأسطوانة التي تتعرض الى هذا العادم الساخن مما يقلل من درجة حرارة المحرك فضلاً عن ذلك تقل المقاومة التي يبديها العادم على المكبس عندما يغير أتجاه حركته من النقطة BDP إلى النقطة TDP. ثم يبدأ شوط العادم من النقطة F وفيه يتحرك المكبس من النقطة BDP الى النقطة TDP داخل الأسطوانة والضغط فيه أعلى من الضغط الجوي فيندفع ما تبقى من العادم الى خارج الأسطوانة وبوصول المكبس الى النقطة TDP ينتهي شوط العادم وتبدأ دورة أخرى للمحرك.

❖ 3.6 العلاقة بين الضغط وحجم الأسطوانة لدورة ديزل المثالية رباعية الأشواط

The Relationship Between The Pressure And The Cylinder Volume For Diesel Cycle.

لا تختلف العلاقة بين الضغط والحجم لدورة ديزل المثالية عن تلك لدورة أوتو المثالية من حيث تتابع العمليات إلا بطريقة حرق الوقود إذ يتم حرقه في محركات الديزل

بثبوت الضغط وتغير الحجم أما في دورة أوتو فيتم الاحتراق بثبوت الحجم وتغير الضغط (شكل 3.5). إن الاحتراق بثبوت الضغط يعود الى التركيبة الكيميائية لوقود الديزل الذي يحتوي على مواد زيتية تستخدم لتزيت الأجزاء المتحركة في مضخة الوقود والحاقنات. هذه المواد الزيتية تبطئ من تبخر وقود الديزل لهذا يأخذ فترة أطول للاحتراق مقارنةً مع وقود البترين. إذ يمر وقود الديزل بثلاثة مراحل قبل الاحتراق كما سنلاحظ ذلك لاحقاً. وبسبب هذه المراحل تزداد الفترة الزمنية لاحتراقه وهذه الفترة الزمنية يرافقها زيادة بالحجم والذي يسبب انخفاض بالضغط إلا أن الضغط خلال فترة الاحتراق يبقى ثابتاً تقريباً. والسبب في بقاء الضغط ثابتاً هو إن الانخفاض في الضغط نتيجة زيادة الحجم تعوضه الزيادة بالضغط نتيجة احتراق الوقود وهذا يمثله الخط CD في الشكل (3.5). إلا أن الضغط داخل الأسطوانة ليس ثابتاً بصورة تامة وإنما هناك زيادة طفيفة فيه نتيجة احتراق الوقود أي أن الزيادة في الضغط نتيجة احتراق الوقود أكبر من انخفاضه نتيجة زيادة الحجم خلال فترة الاحتراق لهذا تمثل النقطة D نهاية الاحتراق وهي أعلى من النقطة C والتي تمثل بداية الاحتراق.



شكل (3.5) **: العلاقة بين الضغط وحجم الأسطوانة لمحركات الديزل رباعية الأشواط (الاحتراق بثبوت الضغط)**

3.6.1 مقارنة بين علاقة الضغط وحجم الأسطوانة لدورة ديزل المثالية رباعية الأشواط بوجود وعدم وجود الشاحن الهوائي

Compression between the relationships between the pressure and the volume with and without a turbocharger.

3.6.1.1 العلاقة بين الضغط والحجم لدورة ديزل المثالية رباعية الأشواط بعدم وجود الشاحن الهوائي

The Relationship Between The Pressure And The Cylinder Volume Without Turbocharger

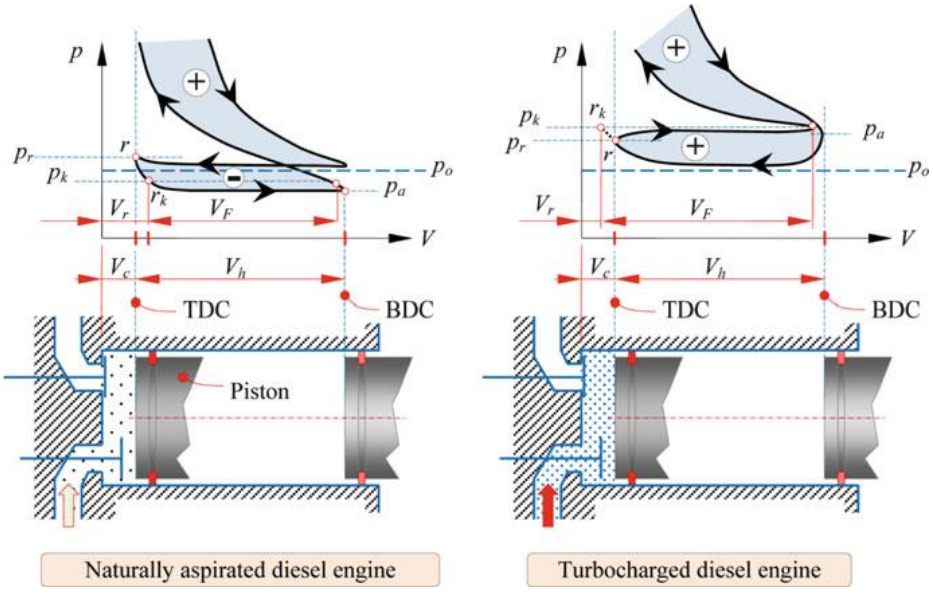
إن إدخال الهواء الى أسطوانات المحرك بالطريقة التقليدية والتي تعتمد على الاختلاف بالضغط الجوي والضغط داخل الاسطوانة (عدم وجود الشاحن الهوائي Turbocharger) يعتمد أيضاً على الضغط داخل أنبوب توزيع الهواء على الأسطوانات (manifold) (شكل 3.6). في نهاية شوط العادم ونتيجة بقاء جزء من العادم الساخن داخل الأسطوانة فأن الضغط داخلها (Pr) يبقى أعلى من الضغط داخل أنبوب توزيع الهواء (P_K). إما الضغط P_K فأنه أقل من الضغط الجوي (P_o) (ambient pressure). ولتخفيض الضغط داخل الاسطوانة (Pr) ليصبح أقل من الضغط داخل أنبوب توزيع الهواء (P_K) أي Pr يصبح Pa يجب إن يترل المكبس من النقطة الميتة العليا ولمسافة معينة في شوط السحب (r_k) عندها يتدفق الهواء الى داخل الأسطوانة (الشكل 3.6). إن الضغط داخل الأسطوانة في نهاية شوط السحب (Pa) يبقى أقل من الضغط داخل أنبوب توزيع الهواء على الرغم من دخول الهواء الى داخل الأسطوانة لهذا يستمر تدفق الهواء الى داخل الأسطوانة لأن صمام السحب يبقى مفتوحاً بعد النقطة الميتة السفلى وبمسافة تعادل 45^0 من درجات شوط الضغط (الربع الأول من شوط الضغط). وعلى الرغم من ذلك فأن كمية الهواء الفعلية الداخلة (V_F) الى الاسطوانة هي أقل من الحجم النظري للأسطوانة (V_h) (V_h-V_F) لهذا فالكفاءة الحجمية للمحرك أقل من واحد (η_v $=V_F/V_h$).

3.6.1.2 العلاقة بين الضغط وحجم الأسطوانة لدورة ديزل المثالية رباعية الأشواط بوجود الشاحن الهوائي

The Relationship Between The Pressure And The Cylinder Volume With Turbocharge

عندما يزود المحرك بشاحن هوائي (Turbocharger) فإن الضغط داخل الأنبوب (P_K) يصبح أعلى من الضغط الجوي (P_o) وأعلى من الضغط داخل الأسطوانة بعد طرد

العادم منها (Pr) (شكل 3.6). والسبب في ذلك هو زيادة كمية الهواء المدفوع الى المحرك من قبل الشاحن مما يزيد الضغط داخل هذا الأنبوب.



محرك ديزل بدون شاحن هوائي **محرك ديزل مزود بشاحن هوائي**

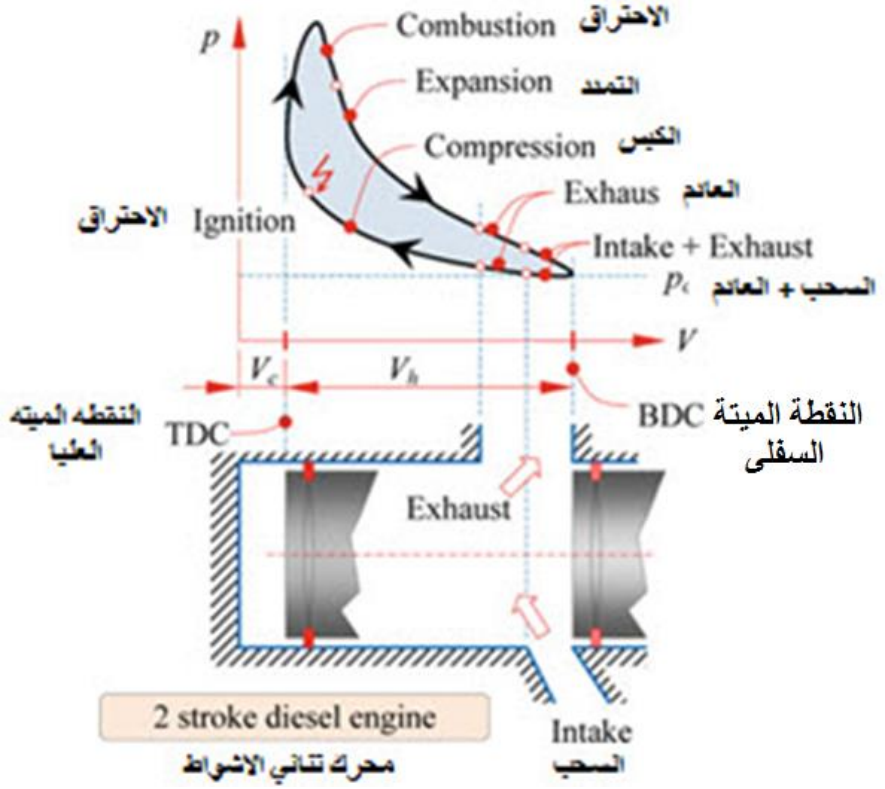
شكل (3.6) **: العلاقة بين الضغط وحجم الأسطوانة لمحركات الديزل بوجود وبعدم وجود الشاحن الهوائي**

ويبقى هذا الضغط أعلى من الضغط داخل الأسطوانة في نهاية شوط السحب (Pa) أي يزداد Pr ويصبح مساوياً الى Pa. فضلاً عن ذلك يزداد حجم الهواء الداخل فعلاً الى الأسطوانة (V_F) لهذا يصبح أكبر من الحجم النظري (V_h) وبمقدار r_k. بينما يقل حجم غرفة الاحتراق V_C ليصبح Vr. ونتيجة الزيادة بحجم الهواء الفعلي تصبح الكفاءة الحجمية أكبر من واحد إلا أن هذه الحالة تختفي في السرع العالية بسبب قصر الفترة الزمنية لشوط السحب فيصبح V_F أقل من V_h وعندها تنخفض الكفاءة الحجمية الى أقل من واحد.

❖ 3.7 العلاقة بين الضغط وحجم الأسطوانة لدورة ديزل المثالية للمحركات ثنائية الأشواط

The Relationship Between The Pressure And The Cylinder Volume For Two Strokes Diesel Engines

تختلف دورة ديزل المثالية للمحركات ثنائية الأشواط والتي يندمج فيها شوطا السحب والضغط بشوط واحد ويندمج شوطا القدرة والعادم بشوط واحد أيضاً عن تلك لدورة ديزل المثالية للمحركات رباعية الأشواط (شكل 3.7). لهذا هناك منحى لشوطي السحب والضغط وآخر للقدرة والعادم فقط. فعند صعود المكبس الى الأعلى يتدفق الهواء الى داخل الأسطوانة من خزان عمود المرفق وبنفس الوقت يؤدي صعوده الى الأعلى الى ارتفاع الضغط داخل الأسطوانة وقبل وصول المكبس الى النقطة الميتة العليا يحقن الوقود ليبدأ الاحتراق من النقطة الاحتراق (Ignition) ويستمر الاحتراق حتى بعد وصول الضغط الى أعلى قيمة له.



شكل (3.7) **: العلاقة بين الضغط** (P) **والحجم** (V) **لمحركات ثنائية الاشواط**

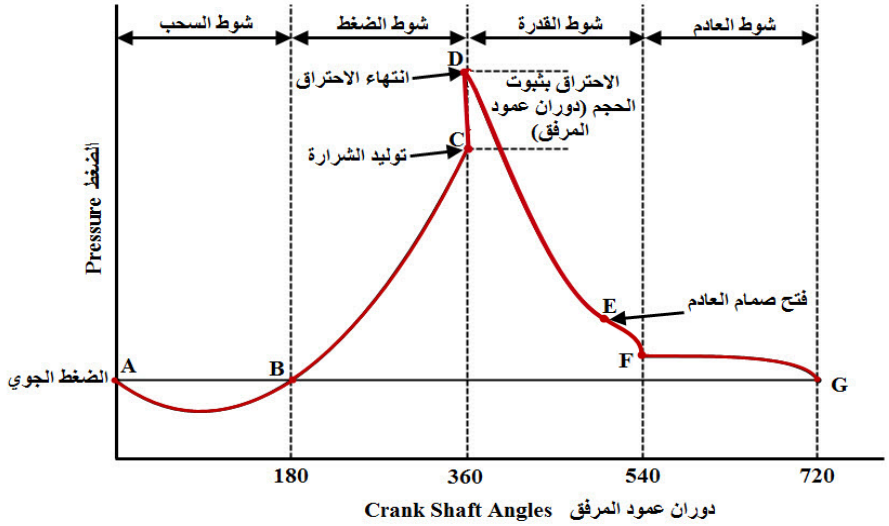
ثم يبدأ شوط القدرة أو التمدد (Expansion). وعند انكشاف فتحة العادم يندفع العادم الى الخارج وعندما يقطع المكبس مسافة أكبر بتزوله الى الاسفل يولد ضغطاً على الهواء الموجود في خزان عمود المرفق مسبباً صعوده الى الأسطوانة من خلال ممر خاص لهذا الغرض.

❖ 3.8 العلاقة بين الضغط ودوران عمود المرفق لدورة أوتو المثالية الرباعية الأشواط

The Relationship Between The Pressure And The Crankshaft Revolutions For An Ideal Otto Cycle

أن دورة محرك أوتو المثالية تتم بدورتين لعمود المرفق (720^0) إذ إن كل شوط من الأشواط الأربعة يأخذ 180^0 نظرياً إلا أنه ليس كذلك عملياً كما سنلاحظ لاحقاً.

يوضح الشكل (3.8) العلاقة بين الضغط داخل الأسطوانة ودوران عمود المرفق لدورة أوتو المثالية. هذه العلاقة مماثلة للعلاقة بين الضغط وحجم الأسطوانة الموضحة في الشكل (3.4) إلا إن الاختلاف بينهما هو انفتاح العلاقة في الشكل (3.4) من حيث التتابع. أن التغييرات بالضغط هنا مماثلة للتغييرات السابقة إذ أن الضغط في شوط السحب أقل من الضغط الجوي إما في شوط الضغط فيرتفع ليبلغ الذروة قبل ان يكمل عمود المرفق 360^0. تحدث الشرارة في نهاية شوط الضغط فيرتفع الضغط بصورة مفاجئة قبل أن يغير عمود المرفق موقعة (دورانه حول نفسه). ثم ينخفض الضغط في شوط القدرة مع دوران عمود المرفق وبعدما يقطع المكبس 135^0 من دوران عمود المرفق ينفتح صمام العادم أي أن شوط العادم يبدأ مبكراً بأخذه 45^0 الأخيرة من شوط



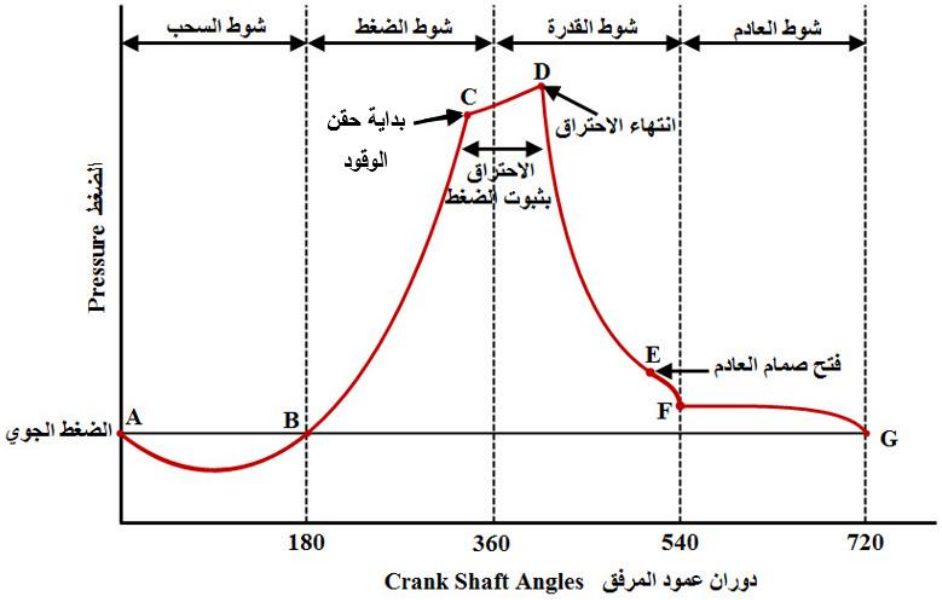
شكل (3.8) : العلاقة بين الضغط ودوران عمود المرفق لدورة أوتو المثالية

القدرة. وعندما ينفتح صمام العادم ينخفض الضغط بصورة كبيرة بسبب الضغط العالي المتبقي داخل الأسطوانة نتيجة احتراق الوقود. ثم يبدأ شوط العادم الذي يبقى فيه الضغط أعلى من الضغط الجوي لطرد العادم ويستمر هذا الشوط حتى يكمل عمود المرفق الـــ180^0 الاخيرة من دورانه وبانتهائه يكمل المحرك دورته.

❖ 3.9 العلاقة بين الضغط ودوران عمود المرفق لدورة ديزل المثالية رباعية الأشواط

The Relationship Between The Pressure And The Crankshaft Revolutions For Ideal Diesel Engine Cycle

لا تختلف العلاقة بين الضغط داخل الأسطوانة ودوران عمود المرفق لدورة ديزل المثالية عن تلك لدورة أوتو المثالية إلا بطريقة حرق الوقود إذ يزداد الضغط مع ثبوت

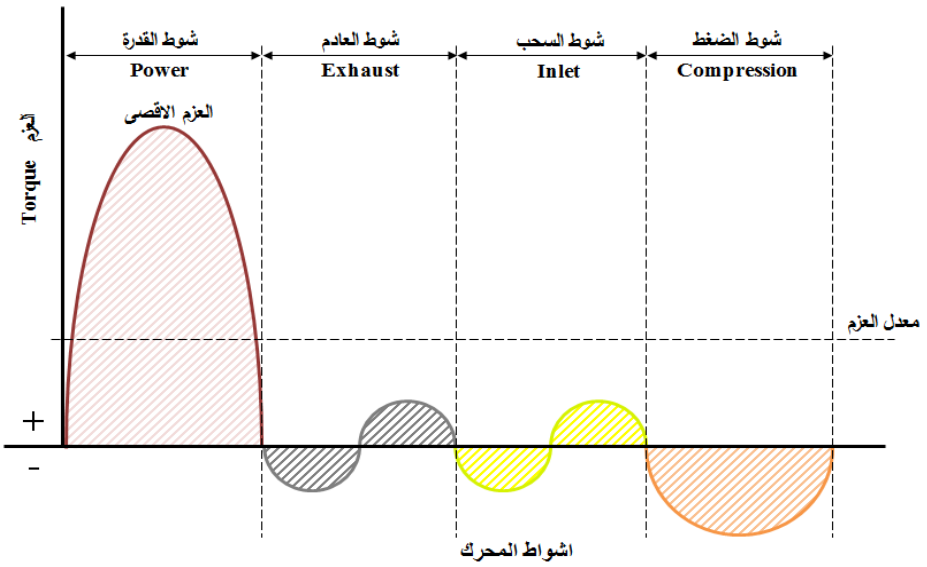


شكل (3.9) : العلاقة بين الضغط ودوران عمود المرفق لدورة الديزل المثالية

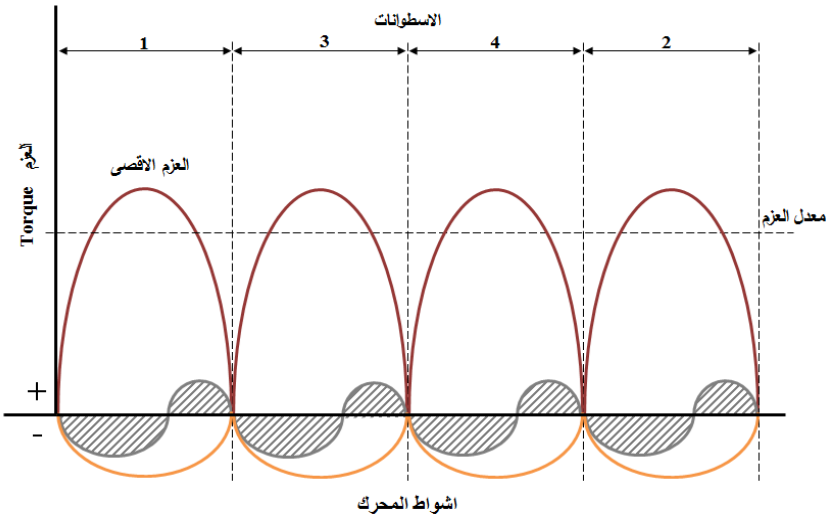
دوران عمود المرفق تقريباً بسبب السرعة العالية لحرق الوقود بينما في محركات الديزل يحدث الاحتراق مع تغير دوران عمود المرفق إذ يأخذ $10\text{-}30^0$ تقريباً من دوران عمود المرفق. والشكل (3.9) يوضح العلاقة بين الضغط ودوران عمود المرفق لمحركات الديزل.

❖ 3.10 المحركات متعددة الأسطوانات Multiple-Cylinder Engines

عندما بدأ تصنيع المحركات بعد اختراعها كانت في البداية أحادية الأسطوانة لسهولة تصنيعها فضلاً عن رخص ثمنها. أما المحركات متعددة الأسطوانات فكانت عملية تصنيعها غير ميسرة بسبب عدم توفر التقنية المطلوبة لتصنيعها فضلاً عن ذلك عدم تقدم العلم بصورة كافية في هذا المجال لكشف أهمية المحركات متعددة الأسطوانات. إن القدرة التي تنتجها المحركات الأحادية الأسطوانة محدودة وقد لا تكفي للتغلب على الأحمال المفروضة عليها والاحتكاك بين أجزاءها المتحركة فضلاً عن متطلبات الأشواط الأخرى غير المنتجة للطاقة وهي السحب والضغط والعادم. يعدّ شوط الضغط من أكثر الأشواط استهلاكاً للطاقة. إما الشوط الوحيد المنتج للطاقة هو شوط القدرة والذي يفترض أن ينتج طاقة كافية لتغطية المتطلبات التي ذكرت سابقاً. وبسبب هذه المتطلبات وخصوصاً بوجود الحمل يحدث تذبذب بسرعة المحرك إذ تزداد سرعته عند شوط القدرة وتقل في الأشواط الثلاثة الأخرى. يوضح الشكل (3.10) العلاقة بين العزم وأشواط المحرك إذ يبلغ العزم قيمته القصوى في شوط القدرة ثم ينخفض بشكل كبير في الأشواط الثلاثة الأخرى. وبسبب هذا الانخفاض الكبير في العزم فأن معدلة منخفض بصورة عامة (شكل 3.10a).



(a) : العزم المنتج من محرك أحادي الاسطوانة.



(b) : العزم المنتج من محرك رباعي الأسطوانة.

شكل (3.10) : عزم المحرك الأحادي والمتعدد الأسطوانات.

ولزيادة العزم الذي ينتجه المحرك ومن ثم قدرته للتغلب على الأحمال التي يتعرض لها فضلاً عن توفير الطاقة لأشواط السحب والضغط والعادم يصنع المحرك بأسطوانات متعددة. فعندما يتكون من أربع أسطوانات فهناك أربعة أشواط قدرة لكل دورة من دورات المحرك والتي تساوي 720^0 مما يجعل انسيابية القدرة مستمرة فتقل الذبذبة في سرعة المحرك فضلاً عن توفير القدرة الكافية للتغلب على الأحمال. يوضح الشكل (3.10b) العزم الذي ينتجه المحرك متعدد الأسطوانات إذ تنتج كل أسطوانة عزماً مما يزيد من معدل العزم المنتج مقارنةً مع الأسطوانة الواحدة (الشكل 3.10a).

إن المشكلة التي تعاني منها المحركات الأحادية والثنائية الأسطوانة هي التذبذب بالطاقة وهذه المشكلة يمكن تخفيفها باستخدام الدولاب الطيار (flywheel) الذي هو عبارة عن قرص معدني كتلته يجب إن تتناسب مع حجم المحرك وعدد أسطواناته. يثبت الدولاب الطيار في نهاية عمود المرفق (crankshaft) ليقوم بامتصاص الطاقة من شوط القدرة ويعيدها إلى المحرك لتغطية متطلباته من القدرة فضلاً عن التغلب على الأحمال المؤثرة عليه. تعتمد الطاقة المخزونة في الدولاب الطيار (flywheel) على كتلته وسرعته لهذا يجب زيادة كتلته كلما قل عدد الأسطوانات في المحرك. إلا أن القدرة الكلية المنتجة من أسطوانة واحدة وعلى الرغم من وجود الدولاب الطيار قد لا تغطي متطلبات الأحمال الكبيرة لهذا ظهرت فكرة المحركات متعددة الأسطوانات لتوفير شوط قدرة في

كل فترة من فترات دوران المحرك لتوفير قدرة كافية. تعتمد القدرة التي ينتجها المحرك على حجم أسطواناته وسرعته وكمية الوقود التي يستهلكها. إلا إن زيادة عدد الأسطوانات يؤدي إلى زيادة تعقيد المحرك فضلاً عن ثمنه إلا أن هذا التعقيد يصبح أقل تأثيراً عندما يكون أنتاج الطاقة أكثر أهمية للتغلب على الأحمال العالية كنقل البضائع وأداره المعامل وغيرها.

❖ 3.11 الدولاب الطيار Fly Wheel

هو عبارة عن قرص معدني يثبت عند مؤخرة عمود المرفق (النهاية البعيدة عن مروحة جهاز التبريد). يوجد الجزء الأكبر من كتلته عند الحافة الخارجية للقرص لزيادة قابليته على خزن الطاقة. الفائدة الرئيسية للدولاب الطيار هي تخزين الطاقة من أشواط القدرة وإرجاع جزء منها إلى المحرك في أشواط السحب والضغط والعادم والجزء الأخر الى الحمل. كما يثبت عليه جهاز الفاصل (clutch) الذي تزود به بعض المحركات (شكل 3.11). تحسب الطاقة التي يخزنها الدولاب الطيار كالآتي:

يعبر عن الطاقة الحركية الخطية (kinetic energy) بالمعادلة (3.8)

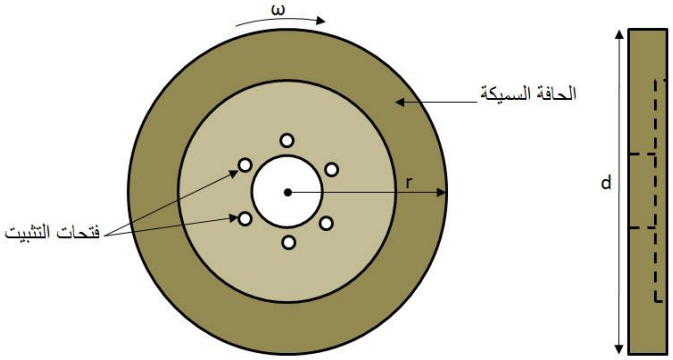
$$K.E = \frac{1}{2} m \bullet V^2 \qquad \text{.....(3.8)}$$

إذ أن:

K.E = الطاقة الحركية (MJ , kJ, J)

m = كتلة الدولاب الطيار (kg)

V = السرعة الخطية (m/sec)



شكل (3.11) : الدولاب الطيار flywheel

يعبر عن السرعة الخطية (V) بالمعادلة (3.9)

$V = \omega * r$ .....(3.9)

إذ أن: ω = السرعة الدورانية (السرعة الزاوية) (rad/sec)

r = نصف قطر الدولاب الطيار (m)

وبتعويض المعادلة (3.9) في المعادلة (3.8) عندها يعبر عن الطاقة الحركية بالمعادلة (3.10)

$$K.E.R = \frac{1}{2} m \bullet \omega^2 . r^2 \quad \text{.....(3.10)}$$

إذ أن: K.E.R = الطاقة الحركية الدورانية (MJ, kJ, J)

إلا أن عزم القصور الذاتي للدولاب الطيار يعبر عنة بالمعادلة (3.11).

$$I = m \bullet r^2 \quad \text{.....(3.11)}$$

إذ أن: I = عزم القصور الذاتي ($kg.m^2$)

وبتعويض المعادلة (3.11) في المعادلة (3.10) عندها يعبر عن الطاقة الحركية الدورانية بالمعادلة (3.12).

$$K.E.R = \frac{1}{2} I \bullet \omega^2 \quad \text{.....(3.12)}$$

يعبر عن السرعة الدورانية (rads/sec) بالمعادلة (3.13).

$$\omega = \frac{2\pi \bullet N}{60} \quad \text{.....(3.13)}$$

إذ أن: N = السرعة الدورانية (دورة/ دقيقة)

تظهر المعادلة (3.12) أن زيادة السرعة الدورانية وعزم القصور الذاتي للدولاب الطيار يؤديان الى زيادة الطاقة المخزونة فيه. كما تظهر المعادلة (3.11) زيادة عزم القصور الذاتي عند زيادة نصف قطر الدولاب الطيار وكذلك عند زيادة كتلته عند الحافة.

مثال:

دولاب طيار يدور بسرعة 1500rpm. كتلته 50kg وقطرة 50cm. أحسب الطاقة الحركية الدورانية التي يخزنها وما هو عزم القصور الذاتي للقرص.

الحل:

السرعة الدورانية:

$$\omega = \frac{2\pi \bullet N}{60}$$

$$\omega = \frac{2\pi \bullet 1500}{60} = 157 rads/\sec$$

عزم القصور الذاتي:

$$I = m \bullet r^2$$

$$I = 50 \bullet \frac{d^2}{4} = 50 \bullet \frac{0.5^2}{4} = 3.125 kg.m^2$$

الطاقة الحركية الدورانية:

$$K.E.R = \frac{1}{2} I \bullet \omega^2$$

$$K.E.R = \frac{1}{2} \bullet 3.125 \bullet 157^2 = 38514.06 J = 38.514 kJ$$

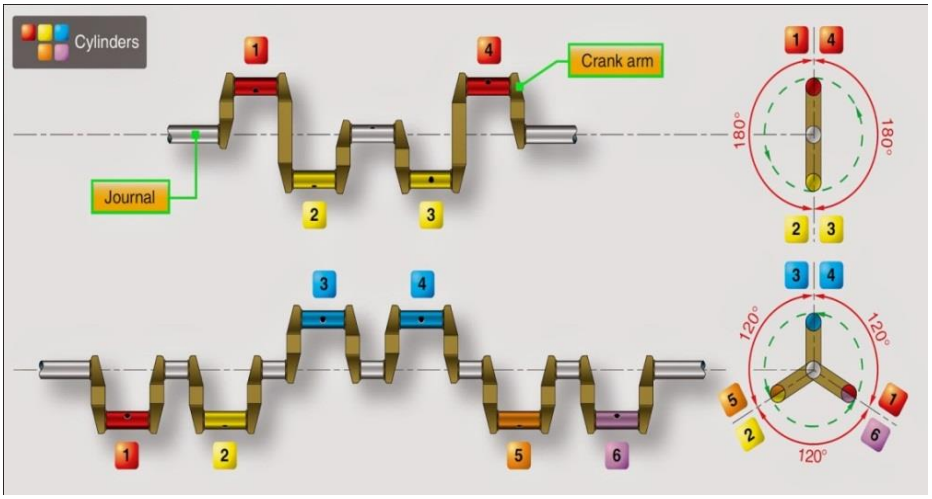
3.11.1 متحسس سرعة المحرك Engine Speed Sensor (RPM)

يزود المحرك بمتحسس لتحديد سرعته الدورانية (شكل 3.12). يثبت هذا المتحسس على غلاف صندوق السرع. يعتمد المتحسس بعمله على الحث المغناطيسي Inductive sensor. يزود الدولاب الطيار والمثبت في نهاية المحرك بقرص مثقب على طول محيطة وعلى مسافات متساوية. توضع نهاية المتحسس مقابل القرص المثقب. عند دوران الدولاب الطيار يدور القرص المثقب معه. تتولد في المتحسس نبضات مغناطيسية نتيجة وجود الثقوب في القرص. يحسب معدل هذه النبضات في الدقيقة الواحدة والتي تمثل سرعة المحرك. كما يحدد المتحسس موقع عمود المرفق. تستخدم هذه المعلومات من قبل جهاز السيطرة الإلكتروني Electric Control Module (ECM) لتوقيت حقن الوقود وتحديد كميته. عند حدوث خلل في المتحسس يتوقف المحرك عن الدوران نهائياً.

شكل (3.12) **: متحسس سرعة المحرك**

❖ 3.12 توزيع الشرارة في محركات البنزين Firing Order

يعدّ توزع الأشواط على أسطوانات المحرك من الأمور الأساسية لتقليل اهتزازات المحرك فضلا عن ذلك للحصول على انسيابية منتظمة من الطاقة للحمل مما يجعل سرعة المحرك أكثر استقرارا. يطلق على توزيع الأشواط على أسطوانات المحرك بترتيب الاحتراق (firing order). هذا الترتيب يجب أن ينظم أشواط القدرة بحيث يجعلها على فترات متساوية للحصول على عزم منتظم من المحرك. يعتمد طول هذه الفترات على عدد الأسطوانات إذ تختلف في المحركات السداسية الأسطوانة عنها في المحركات رباعية الاسطوانة. ففي المحركات الرباعية الأسطوانة رباعية الأشواط تحسب الفترة من قسمة دورتين لعمود المرفق محسوبة بالزوايا (720^0) على عدد الاسطوانات ($720/4=180^0$) أي أن هناك شوط قدرة واحد لكل 180^0 من دوران عمود المرفق (اي لكل نصف دورة). إما فترات أشواط القدرة للمحركات السداسية الأسطوانة رباعية الأشواط تساوي $720/6=120^0$ أي أن أشواط القدرة تحدث كل 120^0 من دوران عمود المرفق (شكل 3.13). وهذا يعني هناك تداخل لأشواط القدرة في المحركات السداسية الأسطوانة مقداره 60^0 مما يزيد ذلك من قدرة المحرك مقارنةً مع المحرك رباعي الأسطوانة. يعتمد توزع الشرارة في المحركات على العوامل الآتية:



شكل (3.13) : عمودي المرفق للمحركات الرباعية (الأعلى) وسداسية الأسطوانة (الأسفل)

1. تنظيم الأسطوانات ومرافق (cranks) عمود المرفق (crank shaft).

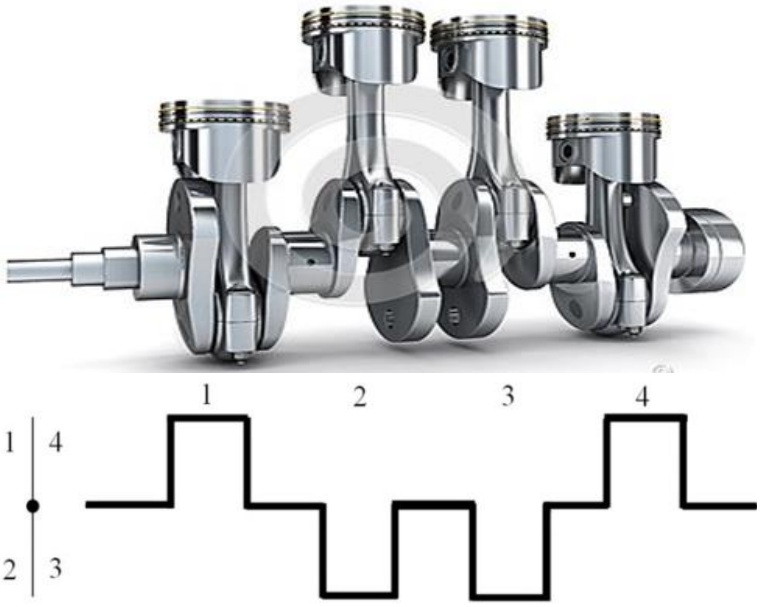
2. ترتيب الكامات على عمود الكامات وهذا الترتيب يجب إن يتوافق مع أحد احتمالات توزيع الشرارة في النقطة (1).

3.12.1 توزيع الأشواط في المحركات رباعية الأسطوانة رباعية الأشواط
The Firing Order For Four-Stroke And Four-Cylinders Engines

يُرتب عمود المرفق (Cranks haft) في المحركات رباعية الأسطوانة بشكل يجعل المكبسان الأول والرابع يصعدان ويترلان معاً والمكبسان الثاني والثالث يعاكسانهما في الحركة (شكل 3.14). عندما يصعد المكبس الى الأعلى فإنه أما في شوط الضغط أو في شوط العادم ويترل الى الأسفل أما في شوط السحب أو الشوط القدرة. فاذا كان المكبس رقم (1) نازلاً وكان في شوط القدرة فأن المكبس رقم (4) يجب أن يكون في شوط السحب. أما المكبسان الثاني والثالث فإنهما يصعدان الى الأعلى فاذا كان رقم (2) في شوط العادم فأن رقم (3) في شوط الضغط أو بالعكس وهذا يُحدده ترتيب الكامات. من هذا يتضح أن هناك احتمالان لترتيب أشواط القدرة في المحركات رباعية الأسطوانة رباعية الأشواط هما (1342) و (1243). يعدّ الترتيب الأول الاكثر استخداماً في المحركات إذ يقلل من اهتزازات المحرك بشكل كبير والسبب في ذلك أن الطاقة المنتجة في المقدمة تنتقل الى المؤخرة ثم تعود الى المقدمة وهكذا. إن إنتاج الطاقة في المقدمة يسبب نوع من الاهتزازات والتي تتجه نحو المؤخرة وعندما ينتقل أنتاج الطاقة الى مؤخرة المحرك ينتج اهتزازات تتجه الى المقدمة هذه الاهتزازات المتعاكسة تنهي بعضها البعض. أما في الترتيب الثاني فان الطاقة تنتج في أسطوانتي المقدمة أولا (1 و 2) ثم تنتقل الى المؤخرة للأسطوانتين (4 و 3) وقد يسبب هذا بعض الاهتزازات البسيطة إلا أن هذه الاهتزازات تنتهي كلما زادت سرع المحرك.

يوضح الجدول (3.1) والشكل (3.15) توزيع الأشواط لمحرك رباعي الأسطوانة رباعي الأشواط ترتيب الاحتراق فيه 1342. يظهر الجدول هناك شوط قدرة واحد لكل نصف دورة من دوران عمود المرفق هذه الأشواط تحدث في الأسطوانات وحسب الترتيب المذكور. فعندما يتولد شوط القدرة في الأسطوانة رقم (1) والذي يأخذ 180^0 من دوران عمود المرفق أي نصف دورة يتولد شوط قدرة في الاسطوانة (3) والذي يأخذ 180^0 أخرى ثم يتولد في الاسطوانة (4) ثم (2) وهكذا تنتقل أشواط القدرة بين أسطوانات المحرك الأربعة.

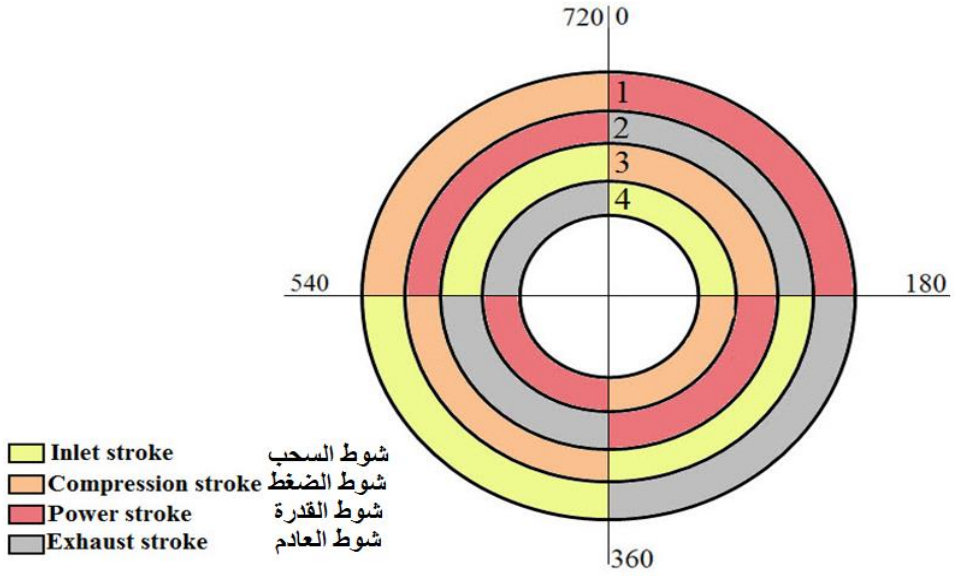
كما يوضح الجدول (3.2) والشكل (3.16) توزيع الأشواط لمحرك رباعي الأسطوانة رباعي الأشواط ترتيب الاحتراق فيه 1243 إلا إن هذا النوع من الترتيب أقل استخداما من النوع الاول بسبب تكرار الاحتراق في المقدمة ثم انتقاله الى المؤخرة مما قد يسبب استقراريه غير تامة للمحرك غير ان هذه المشكلة تخفف باستخدام الأوزان المقابلة أو المتعاكسة (Counter weights) على عمود المرفق.



شكل (3.14) **: عمود المرفق للمحركات رباعية الأسطوانات (المكابس)**

جدول (3.1) **: توزيع الأشواط لمحرك رباعي الأسطوانات رباعي الأشواط ترتيب الاحتراق فيه** 1342

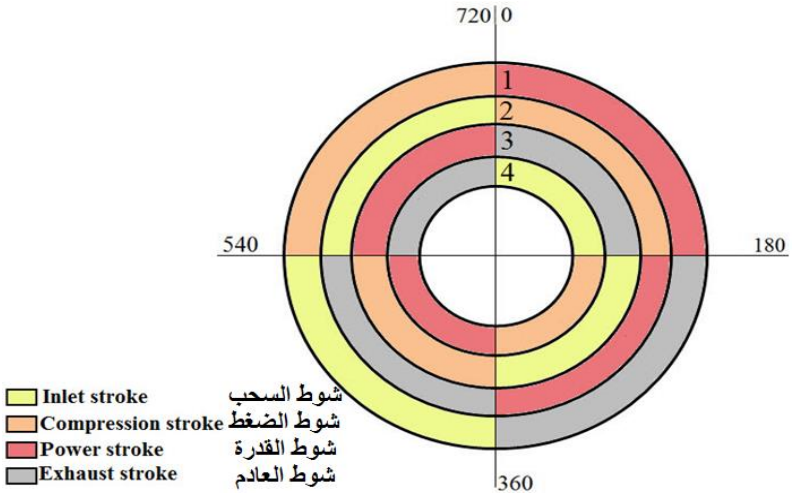
Crank Shaft angle deg.	Cylinder number رقم الاسطوانة			
	1	3	4	2
0	Power	Compression	Inlet	Exhaust
180	Exhaust	Power	Compression	Inlet
360	Inlet	Exhaust	Power	Compression
540	Compression	Inlet	Exhaust	Power
720				



شكل (3.15) **: توزيع الأشواط لمحرك رباعي الأسطوانة رباعي الأشواط ترتيب الاحتراق فيه** 1342

جدول (3.2) **: توزيع الأشواط لمحرك رباعي الأسطوانة رباعي الأشواط ترتيب الاحتراق فيه** 1243

Crank Shaft angle deg.	Cylinder number رقم الاسطوانة			
	1	2	4	3
0	Power	Compression	Inlet	Exhaust
180	Exhaust	Power	Compression	Inlet
360	Inlet	Exhaust	Power	Compression
540	Compression	Inlet	Exhaust	Power
720				



شكل (3.16) **: توزيع أشواط لمحرك رباعي الأسطوانة رباعي الأشواط ترتيب الاحتراق فيه** 1243

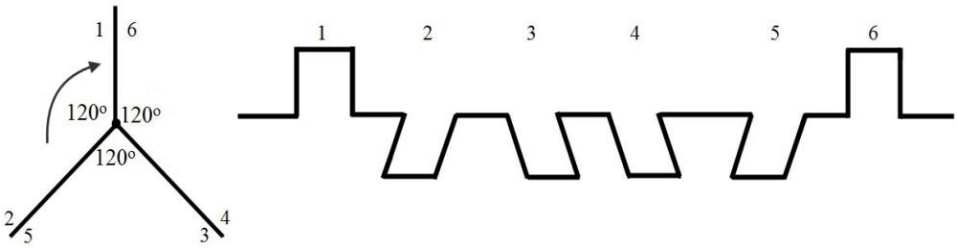
3.12.2 ترتيب الأشواط في المحركات سداسية الأسطوانة على خط واحد

Firing Order For Six –Cylinder In –Line Engines Of Four Strokes

يعتمد توزيع الأشواط في المحركات سداسية الأسطوانات المرتبة فيها الأسطوانات على خط واحد (In-line cylinders) على تتابع مرافق (Cranks) عمود المرفق (crankshaft). فعندما يكون ترتيب المرافق (162534) فأن المكبسان 2 و 5 (المرفقان 2 و5) يتبعان المكبسان 1 و 6 في الصعود الى النقاط الميتة العليا ثم يليهما المكبسان 3 و 4 (شكل 3.17). يتضمن هذا الترتيب لمرافق عمود المرفق (crank pins) أربع احتمالات من تراتيب الاحتراق (جدول 3.3). هذه الاحتمالات الأربع يمكن الحصول عليها بأتباع الطريقة الموضحة في الجدول (3.3). أن أفضل الاحتمالات الأربعة لترتيب الاحتراق هو (153624) لأن توزيع الاحتراق فيه ينتقل من مقدمة المحرك الى مؤخرته وبالعكس عند تقسيم المحرك الى نصفين ثلاثة أسطوانات في المقدمة (1 و 2 و3) وثلاثة في المؤخرة (4 و 5 و 6) وهذا يساعد على تقليل الاهتزازات.

وزعت الأشواط لترتيب الاحتراق 153624 في الجدول (3.4) وفي الشكل (2.18). يظهر هذا الترتيب أن هناك شوط قدرة لكل 120^0 من دوران عمود المرفق. كما يظهر إن هناك تداخل في أشواط القدرة في الأسطوانات المتلاحقة لأن طول الشوط الواحد 180^0. فمثلا عند توليد شوط قدرة في الأسطوانة رقم (1) وقطع المكبس 120^0 يتولد

شوط قدرة في الأسطوانة رقم (5) وهذا يعني أن الثلث الأخير (60^0) من شوط القدرة في الاسطوانة (1) يتداخل مع الثلث الأول من شوط القدرة في الاسطوانة رقم (5). وهذا يؤدي الى زيادة القدرة نتيجة التداخل بين الأشواط فضلاً عن ذلك هناك زيادة إضافية بالقدرة نتيجة زيادة عدد الأسطوانات التي تزيد عدد أشواط القدرة المنتجة في دورة المحرك الواحدة (ست أشواط قدرة لكل دورتين من دورات عمود المرفق 720^0). أما أذا كان ترتيب المرافق Cranks في عمود المرفق هو 163452 فأن المكبسين 3 و 4 يتبعان المكبسين 1 و 6 بصعودهما الى النقطة الميتة العليا ثم يليهما المكبسين 2 و 5 (شكل 3.19). يتضمن هذا الترتيب أربعة احتمالات لتوزيع الأشواط وهذه الاحتمالات موضحة في الجدول (3.5). إن أفضل ترتيب من هذه الاحتمالات الأربعة هو 142635 بسبب التوزيع العادل لأشواط القدرة بين النصف الأول من المحرك (الثلاث أسطوانات الأولى) والنصف الثاني (الثلاث أسطوانات الأخيرة). وبنفس الطريقة السابقة توزع الأشواط على الأسطوانات. كما إن هناك تداخل في أشواط القدرة للأسطوانات المتتالية مقداره 60^0.



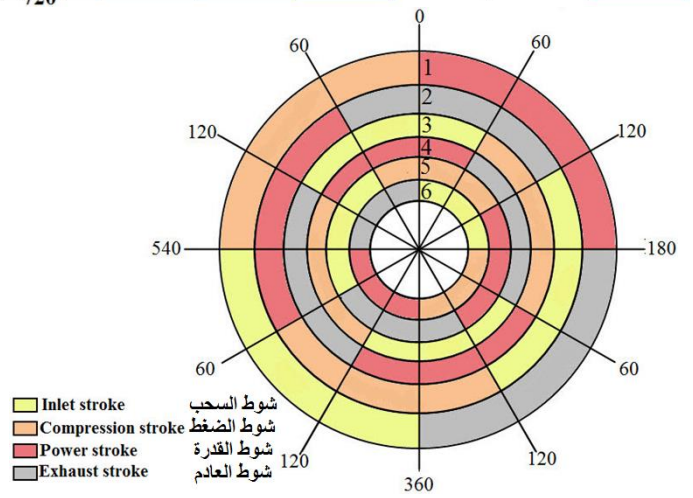
شكل (3.17) **: ترتيب المرافق لعمود المرفق من نوع** 162534 **للمحركات سداسية الأسطوانة**

جدول (3.3) **: الاحتمالات الأربعة لتوزيع أشواط القدرة لمحرك سداسي الأسطوانات ترتيب المرافق في عموده المرفق (المكابس)** 162534

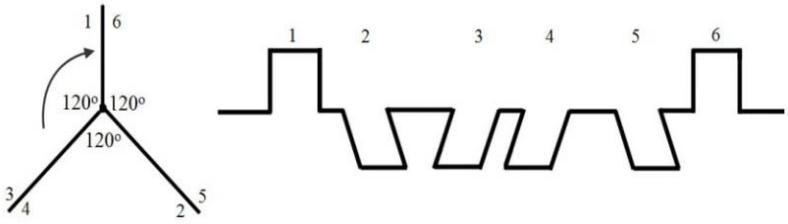
123654	124653	154623	153624
+1:-1	+30:-30	-1:+1	

جدول (3.4) **: توزيع أشواط محرك سداسي الأسطوانة ترتيب الاحتراق فيه** 153624

Crank Shaft Angle deg.	Cylinder number رقم الاسطوانة					
	1	5	3	6	2	4
0	Power	Compression		Inlet	Exhaust	
60			Compression			Exhaust
120		Power			Inlet	
180	Exhaust			Compression		
240			Power			Inlet
300		Exhaust			Compression	
360	Inlet			Power		
420			Exhaust			Compression
480		Inlet			Power	
540	Compression			Exhaust		
600			Inlet			Power
660						
720						



شكل (3.18) **: توزيع الأشواط لمحرك سداسي الأسطوانة رباعي الأشواط ترتيب الاحتراق فيه** 153624



شكل (3.19) **: ترتيب المرافق لعمود المرفق من نوع** 163425 **للمحركات سداسية الأسطوانة**

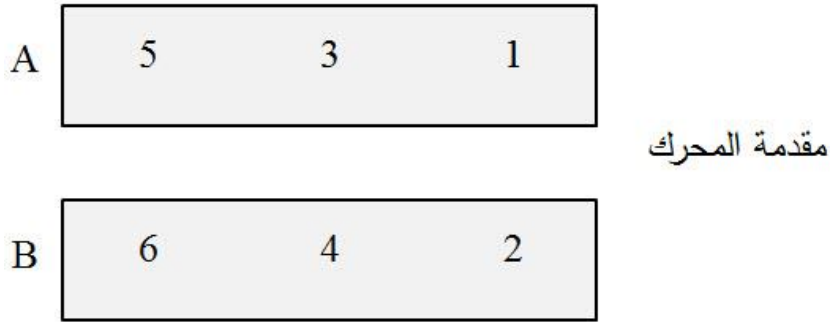
جدول (3.5) **: الاحتمالات الأربعة لتوزيع أشواط القدرة لمحرك سداسي الأسطوانات ترتيب المرافق فيه (المكابس)** 163425

132645	135642	145632	142635
+3:-3	+10:-10	-3:+3	

3.12.3 ترتيب الأشواط في المحركات سداسية الأسطوانات من النوع على خطين

يختلف توزيع الأشواط في المحرك سداسي الأسطوانة المرتبة فيه الأسطوانات في صفين على شكل الحرف (V) V-type engine. تعدّ الأسطوانات من المقدمة الى المؤخرة كباقي المحركات إلا إن الجانب الأيمن يعطى الأعداد المفردة والجانب الأيسر الأعداد الزوجية وبعض الأحيان يعطى الجانب الأيمن الحرف A والجانب الأيسر الحرف B (شكل 3.20). إن أفضل ترتيب لتوزيع الأشواط في هذا النوع من المحركات هو 165432. أذ يبدأ شوط القدرة بالأسطوانة (1) وهي تقع في المقدمة وفي الجانب الأيسر للمحرك ثم ينتقل الى الأسطوانة 6 الموجودة في مؤخرة المحرك والتي تقع في الجانب الأيمن. ثم يبدأ شوط قدرة في الاسطوانة 5 ثم 4 وهكذا. وهذا يعني إن الأشواط تنتقل من الجهة اليسرى الى اليمنى وبالعكس والسبب في ذلك يعود الى تصميم عمود المرفق الذي يسمح أن يربط عمودا توصيل المكبسين المتقابلين على مرفق واحد. يساعد هذا الترتيب للمكابس المتقابلة على تقليل اهتزازات المحرك لأن الاهتزازات المتولدة في أحد الأسطوانات نتيجة شوط القدرة تخمدها تلك المتولدة في الأسطوانة التي تقابلها.

إن تغيير ترتيب الاحتراق في هذا النوع من المحركات السداسية الأسطوانة من نوع (V-type) لم يغير التداخل في أشواط القدرة إذ يبقى بمقدار 60^0.

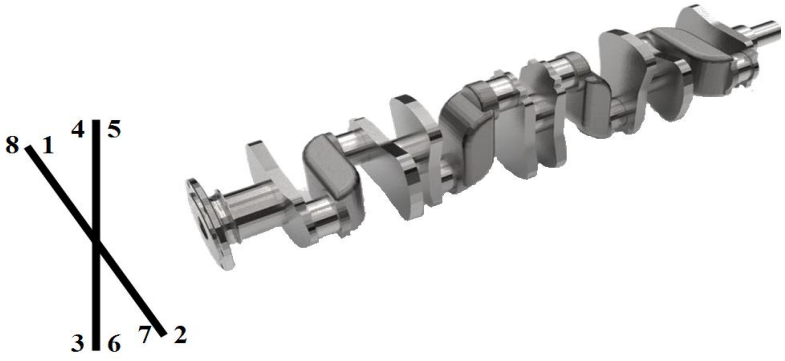


شكل (3.20) **: توزيع أسطوانات محرك سداسي الاسطوانة من نوع الحرف** V-types (V)

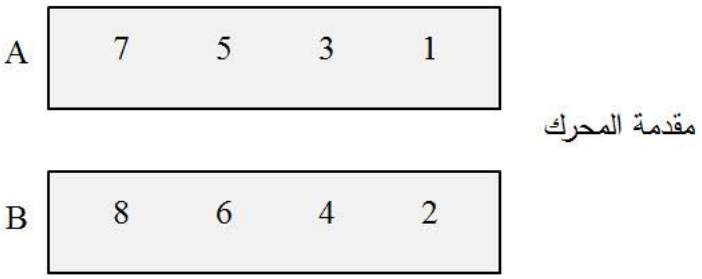
3.12.4 ترتيب الأشواط في المحركات ثمانية الأسطوانات من النوعين على خط واحد وعلى خطين

Firing Order For In- Line And V-Type Eight Cylinder Engines

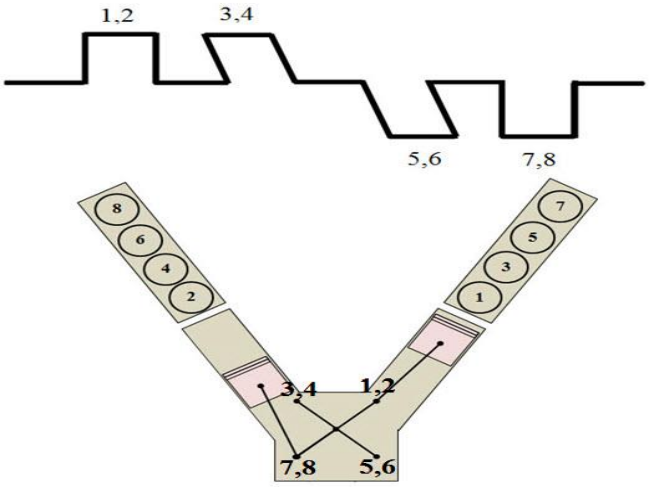
يوضح الشكل (3.21) عمود مرفق لمحرك ثماني الأسطوانة مرتبة فيه الأسطوانات على خط واحد. هناك عدة احتمالات لتوزيع أشواط القدرة في هذا النوع من المحركات. إن أفضل ترتيب للأشواط هو 16258374 وهذا الترتيب يعطي توزيعاً عادلاً للأشواط بين النصف الاول (المقدمة) والنصف الثاني للمحرك (المؤخرة). هاذان النصفان يَضمان أربعة أسطوانات من العدد الكلي للأسطوانات. تتداخل أشواط القدرة للأسطوانات المتعاقبة في هذا النوع من المحركات بمقداره 90^0. فمثلاً أذا تولد شوط قدرة في الأسطوانة (1) وقطع المكبس مسافة تعادل 90^0 من دوران عمود المرفق وبقي من الشوط 90^0 يبدأ شوط قدرة جديد في الأسطوانة (6) والتي تلي الأسطوانة (1) من حيث ترتيب الاحتراق. وهذا يعني أن هناك شوط قدرة ونصف الشوط لكل نصف دورة من دورات عمود المرفق. يؤدي هذا التداخل في أشواط القدرة الى زيادة القدرة التي ينتجها المحرك والتي تساوي ضعف تلك التي ينتجها محرك رباعي الأسطوانة إذا تماثلا في موصفاتهما التصميمية وأكبر من القدرة التي ينتجها محرك سداسي الأسطوانة وبمقدار مرة وثلث إذا كان للمحركين نفس المواصفات التصميمية أيضاً ماعدا عدد الأسطوانات.



شكل (3.21) **: عمود المرفق لمحرك ثماني الأسطوانات**



شكل (3.22) **: ترتيب الأسطوانات في المحرك ثماني الأسطوانة من نوع** V-type **(صفين)**

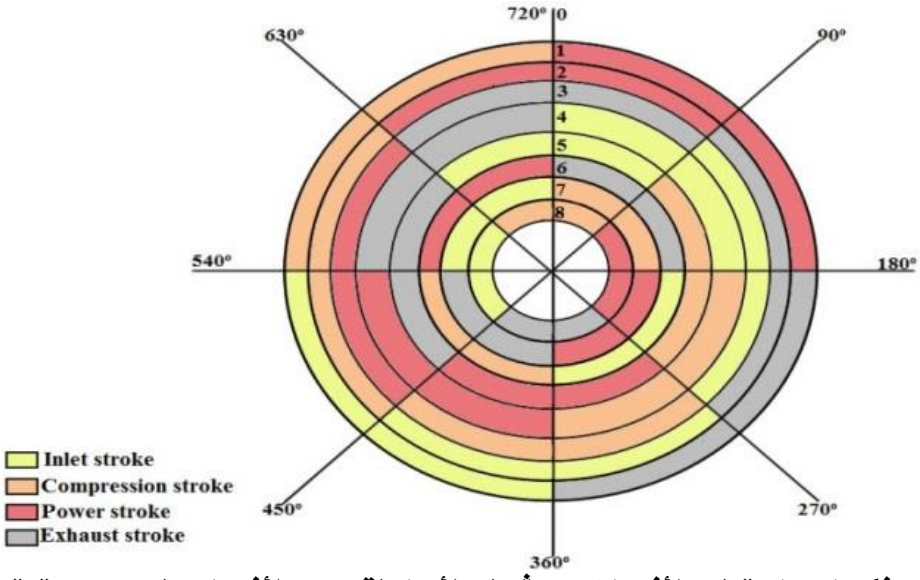


شكل (3.23) **: ترتيب الأسطوانات وعمود المرفق في محرك ثماني الأسطوانة من نوع** V-type

أما المحركات ثمانية الأسطوانات والمرتبة في صفين على شكل الحرف (V) V-type يعطى فيه الصف الأيمن من الأسطوانات عندما ينظر للمحرك من الأمام الأرقام الفردية أو الحرف A أما الصف الأيسر فيعطى الارقام الزوجية أو الحرف B. وفي بعض المحركات يُعكس الترقيم بعض الأحيان (شكل 3.22). تزود هذه المحركات بعمود مرفق ترتيب المرافق فيه موضحة في الشكل (3.23). وبسبب أنتشار هذا النوع من المحركات مقارنةَ بالنوع ذو الأسطوانات على خطاً واحد سوف نقوم بتوزيع أشواطه. ترتيب الأشواط في هذا النوع من المحركات (V-type) هو 18754362 وفية تتداخل الأشواط المتتالية بمقدار 90^0 أيضاً. وزعت أشواط هذا الترتيب في الجدول (3.6) والشكل (3.24).

جدول (3.6) **: توزيع أشواط محرك ثماني الأسطوانة رباعي الأشواط من نوع** (V-type) **ترتيب الاحتراق فيه** 18754362.

Crank Shaft angle deg.	Cylinder number رقم الاسطوانة							
	1	8	7	5	4	3	6	2
0	Power		Compression		Inlet		Exhaust	
90		Power		Compression		Inlet		Exhaust
180	Exhaust		Power		Compression		Inlet	
270		Exhaust		Power		Compression		Inlet
360	Inlet		Exhaust		Power		Compression	
450		Inlet		Exhaust		Power		Compression
540	Compression		Inlet		Exhaust		Power	
630		Compression		Inlet		Exhaust		Power
720								



شكل (3.24) **: توزيع الأشواط لمحرك ثماني الأسطوانة رباعي الأشواط من نوع** V-type **ترتيب الاحتراق فيه** 18754362

❖ 3.13 توقيت صمامات المحرك Valves Timing Of The Engine

يعدّ التوقيت الصحيح للصمامات من العوامل الأساسية المحددة لأداء المحرك. إذ يحدد التوقيت طول شوطي السحب والعادم. فطول شوط السحب من ناحية أخرى يحدد كمية الهواء أو الخليط الداخلة إلى الأسطوانات أما طول شوط العادم فيحدد كمية

العادم المكسوح خارج الأسطوانة. فكلما زادت كمية العادم المكسوحة قلت الكمية المتبقية منة داخل الأسطوانات مما يقلل من مقدار ارتفاع درجة حرارة المحرك أو احتمالية اختناقه. وعندما يحدث خلل بتوقيت الصمامات يتغير أداء المحرك بشكل كبير فترتفع درجة حرارته وتنخفض قدرته فضلاً عن حدوث انفجارات متكررة داخل أنبوب العادم أحياناً عند التبكير الكبير بفتح صمام العادم (فتحه قبل أوانه) لهذا يعتبر التوقيت مهم جداً لتحسين أداء المحرك. وقبل الخوض بالمبدأ الذي يعتمد عليه توقيت الصمامات يجب التعرف أولاً على المشاكل التي تظهر على المحرك عند التبكير و التأخير بفتح أو غلق صمامي السحب والعادم.

3.13.1 صمام السحب Timing Of Inlet Valve

1. التبكير بفتح صمام السحب Inlet Valve Open Lead

عندما ينفتح صمام السحب مبكراً أي قبل موعده فأن جزء من العادم الموجود في الأسطوانة من دورة المحرك السابقة والذي يقوم المكبس بطرده يدخل في أنبوب توزيع الهواء في محركات الديزل أو الخليط في محركات البترين. يؤدي دخول العادم الساخن الى هذا الأنبوب إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء أو الخليط مما يقلل من كثافتيهما ومن ثم انخفاض كميتيهما الداخلتين للأسطوانات كما أن جزء من العادم يعود الى الأسطوانات مع الهواء أو الخليط الداخلين فيملأ جزء من حيز الأسطوانات مما ينعكس سلبياً على الطاقة التي ينتجها الوقود. في محركات الديزل ربما تكون كمية الأوكسجين غير كافية لحرق الوقود بينما في محركات البترين تنخفض كمية الوقود ومن ثم تقل كمية الطاقة الناتجة من حرقه. وعندما يكون الفتح مبكراً بصورة كبيرة فان العادم يدخل بكمية كبيرة وسرعة عالية في أنبوب التوزيع وهذا قد يسبب اختناق المحرك ومن ثم توقفه أو يندفع في أنبوب التوزيع نتيجة سرعته العالية ويخرج من خلال منظف الهواء (back wave) الى الخارج في محركي الديزل والبترين إذا كان الأخير مزوداً بجهاز وقود من النوع ذي الحاقنات. إما إذا كان محرك البترين مزود بجهاز خلط الهواء والبترين (الكابريته) فأنه قد يسبب طفح الوقود في الجهاز. كما إن دخول كمية كبيرة من العادم بأنبوب توزيع الهواء يسبب رفع الضغط فيه مما يعيق أو يقلل من دخول الهواء الى داخل المحرك إلا أن هذه المشكلة ليست كبيرة أذا كان المحرك مزود بشاحن هواء توربيني.

2. تأخير فتح صمام السحب **Inlet Valve Open Lag**

يؤدي تأخير فتح صمام السحب إلى قصر الفترة الزمنية للشوط مما يؤدي الى تقليل كمية الهواء أو الخليط الداخل إلى الأسطوانات. وهذا بدوره يقلل الطاقة الناتجة من حرق الوقود في محركات الديزل بسبب الاحتراق غير التام للوقود لعدم توفر الاوكسجين بكمية كافية. إما في حالة محركات البترين فأن كمية الخليط ستكون غير كافية مما ينعكس سلباً على الطاقة الناتجة من الوقود (قلة كمية الخليط). فضلاً عن ذلك أن تأخير فتح صمام السحب يؤخر دخول الهواء أو الخليط الى داخل الأسطوانات في كلا المحركين الديزل والبترين مما يحرم كلا المحركين من مساعدة الهواء أو الخليط على طرد العادم من الأسطوانات. إذ يقوم الهواء والخليط وبسبب كثافتيهما العاليتين مقارنة مع العادم بالاندفاع نحو صمام العادم فيساعدان على أزاحة العادم باتجاه الصمام وهذا يساعد على طرد جزء منه. إن بقاء جزء من العادم داخل الأسطوانات سوف يشغل حيزاً منها وهذا يقلل من كمية الهواء أو الخليط الداخلين إلى الأسطوانات فضلاً عن تسخينهما والذي يسبب تمددهما داخل الأسطوانات.

3. التبكير بغلق صمام السحب **Inlet Valve Close Lead**

يؤدي التبكير بغلق صمام السحب إلى قصر شوط السحب مما يسبب مشاكل كبيرة للمحرك خصوصاً في السرع العالية لأن الفترة الزمنية لهذا الشوط تقصر بصورة كبيرة. يؤدي قصر طول شوط السحب الى انخفاض كمية الهواء في حالة محركات الديزل والخليط في حالة محركات البترين. وهذا الانخفاض يقلل من الطاقة الناتجة من حرق الوقود كما سبق وذكرنا. إلا أنه في الآونة الاخيرة زودت المحركات الحديثة بصمامي سحب بدلاً من صمام واحد مما يزيد من كمية الهواء أو الخليط في السرع البطيئة والمتوسطة للمحرك ويخففان من المشكلة الى حدٍ كبير في السرع العالية إلا إن تأثيرهما يقل بصورة كبيرة عند التبكير بغلقهما.

4. التأخير بغلق صمام السحب **Inlet Valve Close Lag**

يؤدي تأخير غلق صمام السحب عن موعده الى طول فترة الشوط مما يسبب ضرراً للمحرك إذ يفقد جزء من الهواء أو الخليط المسحوبين خلال الفترة المخصصة للشوط من خلال صمام السحب (موجة عكسية) نتيجة ارتفاع الضغط داخل الأسطوانة لأن شوط السحب تجاوز بصورة كبيرة على شوط الضغط. إن الضرر الذي يسببه الغلق المتأخر لصمام السحب قد يكون أكبر من الضرر الذي يسببه التبكير في غلقه بسبب

الضغط العالي الذي يولده المكبس داخل الأسطوانة والذي قد يسبب طرد جزء كبير من الهواء أو الخليط وهذا ينعكس سلباً على الطاقة التي ينتجها المحرك.

3.13.2 صمام العادم Exhaust Valve Timing

1. التبكير بفتح صمام العادم Exhaust Valve Open Lead

إن التبكير بفتح صمام العادم يسبب اندفاع العادم بكميات كبيرة وبسرعة عالية خارج الأسطوانة بسبب الضغط العالي المتبقي من حرق الوقود داخلها. وهذه السرعة العالية للعادم قد تسبب تحطيم المهدئة (مخمده الصوت) الموجودة في أنبوب العادم (silencer) بعض الأحيان. وعندما يكون الضغط عالياً بما فيه الكفاية يسبب ظهور انفجارات متقطعة ومتتابعة في أنبوب العادم فضلاً عن ذلك ترتفع درجة حرارة صمام العادم بشكل كبير والتي قد تسبب ضرراً له كالشد الحراري أو الذوبان الموضعي. كما أن الفتح المبكر لصمام العادم قد يسبب خسارة بالضغط المتولد نتيجة احتراق الوقود والذي يستخدم بدفع المكبس الى الأسفل مما قد يقلل من سرعة المكبس ومن ثم الطاقة الميكانيكية عند الدولاب الطيار (Flywheel).

2. التأخير بفتح صمام العادم Exhaust Valve Open Lag

يعدّ التأخير بفتح صمام العادم له تأثير سلبي أكبر من التبكير بفتحه لأن التأخير يؤدي إلى تعرض مساحة كبيرة من الأسطوانة إلى العادم الساخن فترتفع درجة حرارتها ومن ثم حرارة المحرك. فضلاً عن ذلك تزداد المقاومة التي يبديها العادم على المكبس عند صعوده إلى الأعلى في شوط العادم الفعلي بسبب حجمه الكبير المتبقي في الأسطوانة وضغطة العالي وهذا يزيد من الطاقة الذي يصرفها المكبس في طرده. إلا أن فتح صمام العادم في اللحظة المناسبة يؤدي إلى طرد جزء من العادم من الأسطوانة بواسطة الضغط المتبقي من حرق الوقود مما يقلل من المقاومة على المكبس أثناء صعوده الى الأعلى لطرد ما تبقى منه. فضلاً عن ذلك عدم تعرض مساحة كبيرة من الأسطوانة لحرارة العادم وهذا يقلل من حرارة المحرك. كما أن التأخير بفتح صمام العادم يخفض كفاءة تنظيف الأسطوانة من العادم بشكل ملحوظ وهذا يسبب انخفاض كمية الهواء أو الخليط الداخل للأسطوانة بسبب الحيز الذي يملأه العادم المتبقي والذي يؤدي في نفس الوقت الى ارتفاع درجة حرارة الهواء (محركات الديزل) أو الخليط (محركات البترين) مما يسبب تمددهما ومن ثم ملأهما حيزاً أكبر من الحيز الذي يفترض أن يملأنه أذا كانت الأسطوانة خالية من العادم.

3. التبكير بغلق صمام العادم Exhaust Valve Close Lead

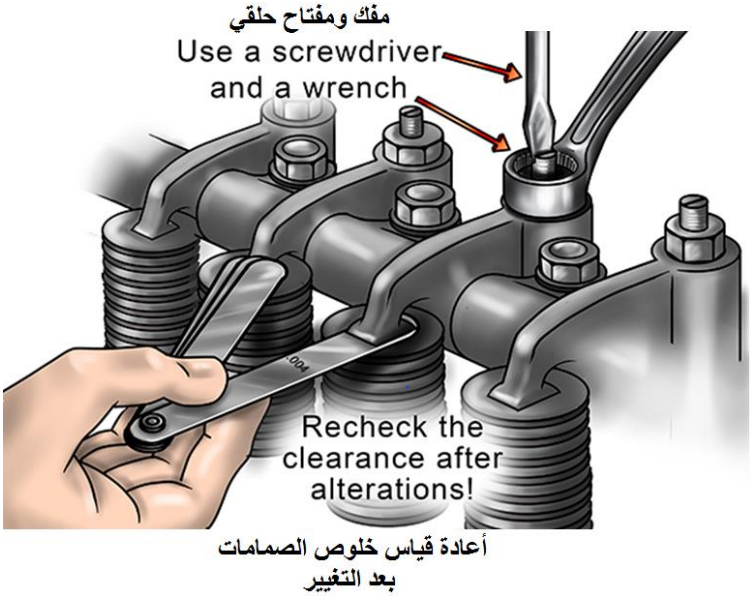
يؤدي التبكير بغلق صمام العادم الى بقاء جزء من العادم داخل الأسطوانة مما يؤدي إلى رفع درجة حرارتها فضلاً عن ملئه حيزاً داخل الأسطوانة مسبباً انخفاض كمية الهواء أو الخليط الداخل إليها. كما أن اختلاط العادم مع الهواء أو الخليط داخل الأسطوانة يسبب رفع درجة حرارتهما فيزداد حجمهما فيملأن حجماً أكبر من الحجم الذي يملأنه بالحرارة الاعتيادية. فضلاً عن ذلك قد يسبب العادم اختناق المحرك وربما يسبب توقفه عن العمل.

4. تأخير غلق صمام العادم Exhaust Valve Close lag

يسبب تأخير غلق صمام العادم الى تجاوز شوط العادم بصورة كبيرة على شوط السحب مما يؤدي إلى خروج جزء غير قليل من الهواء أو الخليط الداخلين إلى الأسطوانات في شوط السحب من خلال أنبوب العادم مما يقلل من الكمية المتبقية منهما وهذا ينعكس سلباً على أداء المحركات. ففي محركات الديزل تقل كمية الهواء مما يسبب انخفاض كمية الاوكسجين الضرورية لحرق الوقود فتقل الطاقة الناتجة وتزداد كمية أول أوكسيد الكاربون الذي يتميز بلونة الأسود المزرق والذي يسبب تلوثاً للبيئة. إما في محركات البترين فأن انخفاض كمية الخليط يقلل من الطاقة الناتجة مما يقلل من قدرة المحرك.

❖ 3.14 قياس خلوص الصمامات Valve Clearance Adjustment

يعدّ ضبط خلوص صمامات المحرك من الأمور الأساسية لتحسين أدائه من خلال إبقاء فترة شوطي السحب والعادم ثابتتين عند الحدود التصميمية (الفترة الزمنية المخصصة لكل شوط). وعندما يتغير الخلوص بسبب الحرارة أو تآكل أجزاء آلية فتح وغلق الصمامات أو تعرضها الى مشاكل أخرى يتغير توقيت الصمامات ومن ثم طول الفترة الزمنية لشوطي السحب والعادم وهذا ينعكس سلباً على أداء المحرك. ولضبط الخلوص يجب قياسه بين فترة وأخرى. يقاس الخلوص بين نهاية الصمام والذراع المتأرجح (rocker arm) أذا كانت آلية فتح وغلق الصمامات من النوع ذو الأذرع المتأرجحة. أما إذا كان عمود الكامات يقع مباشرةً فوق الصمامات فيقاس الخلوص بين الكامات (الدائرة الرئيسية base circle) ونهاية الصمامات. إذا كانت آلية فتح وغلق الصمامات من النوع ذات الأذرع المتأرجحة تتم عملية ضبط الخلوص كالآتي:

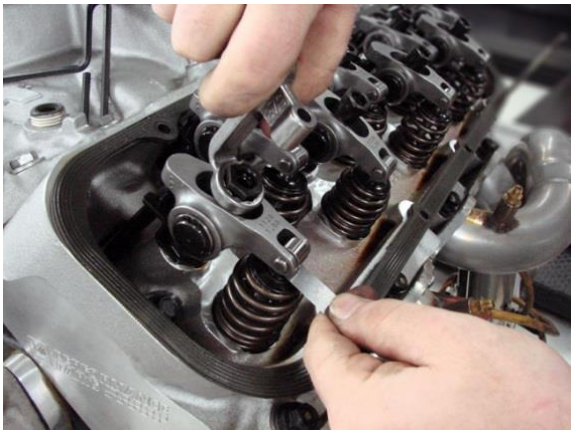


شكل (3.25) **: طريقة ضبط خلوص الصمامات**

يدور المحرك إلى إن يصبح مكبس الأسطوانة رقم (1) (مقدمة المحرك) في شوط الضغط (شكل 3.25). تفتح صامولة الذراع المتأرجح (nut) باستخدام (wrench spanner) أو (box spanner) وبعد ارتخائها يتم اختيار سمك الرقيقة المعدنية (shim) التي تناسب خلوص الصمامات وحسب توصية الشركة المنتجة للمحرك لأن خلوص الصمامات يختلف من نوع الى آخر من المحركات. توضع الرقيقة المعدنية بين نهاية الذراع المتأرجح ونهاية الصمام ثم يستخدم (screwdriver) (آلة تدوير اللوالب) ويدور اللولب يميناً وشمالاً إلى أن تحتاج الرقيقة المعدنية الى قوة بسيطة لسحبها عندها وصل خلوص الصمام الى القيمة المطلوب. بعد ذلك تشد الصامولة باستخدام (wrench spanner) ثم يتم الانتقال الى صمام العادم لقياس خلوصه وبنفس الطريقة. ثم يدوّر المحرك 180^0 ويقاس خلوص صمامي السحب والعادم للأسطوانة رقم (3) لأنها أصبحت في شوط الضغط إذا كان المحرك من النوع الرباعي الأسطوانة وتتابع الاحتراق فيه من النوع (1342) أو يتم الانتقال الى صمامات الأسطوانة (2) اذا كان تسلسل الاحتراق في المحرك من النوع (1243) أو للأسطوانة (5) اذا كان المحرك سداسي الأسطوانة وعلى خط واحد وترتيب الاحتراق فيه (153624).

أما إذا كانت الصمامات من النوع الموضح في الشكل (3.26) فأن الصامولة الموجودة في الوسط تفتح باستخدام (wrench spanner) ثم يستخدم (screwdriver) لتدوير اللولب الموجود في الوسط أو الآلة (العتلة الأسطوانية). تتم عملية ضبط الخلوص بنفس الطريقة التي ذكرت سابقاً بالانتقال الى أسطوانات المحرك الأخرى.

تختلف المحركات في ما بينها بالنسبة الى درجة الحرارة التي يقاس عندها خلوص الصمامات فبعض المحركات يقاس خلوص صماماتها سوى كان السحب أو العادم وهي باردة. بينما في بعض المحركات وهي ساخنة. وفي محركات أخرى يقاس خلوص صمامات السحب وهي باردة بينما صمامات العادم وهي ساخنة إذ يتم تشغيل المحرك



شكل (3.26) **: قياس خلوص الصمامات ذات الأذرع المتأرجحة من الأنواع ذات الأسطوانات الصلدة** rollers

لفترة معينة وتتم عملية القياس. في بعض المحركات خلوص صمامات السحب مساوياً لخلوص صمامات العادم بينما في البعض الآخر خلوص صمامات العادم أكبر من خلوص صمامات السحب فمثلاً في بعض المحركات خلوص صمامات السحب 0.15mm بينما خلوص صمامات العادم 0.25mm.

❖ 3.15 مبدأ فتح وغلق الصمامات

The Principle Of Valves Opening and Closing

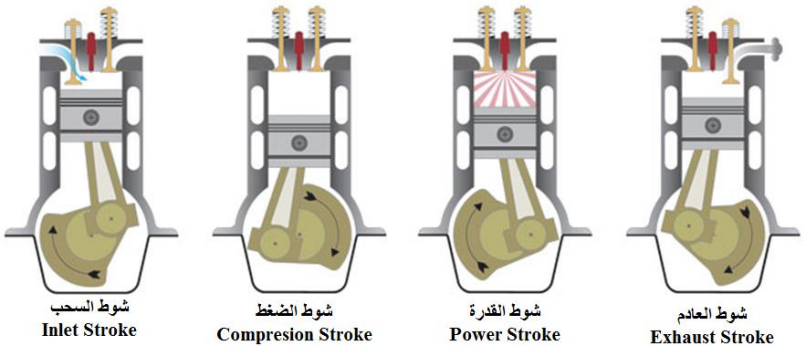
تؤدي السرعة العالية للمحرك إلى قصر الفترة الزمنية للأشواط الأربعة وأكثر الأشواط تأثراً هما شوطي السحب والعادم. فعندما تقصر الفترة الزمنية لشوط السحب

تنخفض كمية الهواء أو الخليط الداخلة للمحرك مسببة انخفاض القدرة المنتجة. إما بالنسبة لشوط العادم فأن قصر فترته الزمنية تؤدي الى انخفاض كمية العادم المكسوحة خارج المحرك مما يؤثر على حرارته والتي تقلل من كمية الهواء أو الخليط الداخلة في أسطواناته. ويمكن الاستدلال على ذلك من المثال الآتي:

عندما تكون سرعة المحرك 1200 دورة في الدقيقة فأن عدد أشواط السحب أو العادم هي (1200/2=600) في الدقيقة الواحدة على اعتبار هناك شوط سحب أو عادم لكل دورتين من دورات عمود المرفق. وهذا يعني إن عدد أشواط السحب أو العادم في الثانية هي عشرة أشواط (600/60=10). وهذا يعني أن زمن الشوط الواحد هو (1/10=0.1) ثانية. في هذه الفترة الزمنية القصيرة للشوط يجب أن ينفتح فيها صمام السحب فيبدأ الهواء بالدخول في الأسطوانة ويفترض يملئها أو ينفتح صمام العادم فيبدأ طرد العادم منها ويفترض نظافتها من العادم ثم يغلق الصمامين. وعند مضاعفة سرعة المحرك إلى 2400 دورة في الدقيقة وهي سرعة اعتيادية لكثير من أنواع المحركات وخصوصاً العجلات منها ينخفض زمن الشوط إلى 0.05 ثانية وهذه الفترة غير كافيه لملأ الأسطوانة بالهواء أو الخليط أو طرد العادم منها. لهذا ليس من المناسب فتح الصمامين عند النقطتين الميتة العليا والسفلى علماً أن المحرك يعطي أفضل أداء له عند دخول أكبر كمية من الهواء في محركات الديزل أو الخليط في محركات البترين إلى داخل الأسطوانات لهذا يجب أن تفتح وتغلق الصمامات عند مواقع تسمح بدخول أكبر كمية من الهواء أو الخليط ويتم ذلك بزيادة طول فترة شوط السحب. كما يعطي المحرك أفضل أداء له عندما تطرد أكبر كمية من العادم وهذا يتم بزيادة طول فترة شوط العادم. إن المبدأ الذي يتم من خلاله زيادة فترتي شوطي السحب والعادم هو:

عند نزول المكبس من النقطة الميتة العليا في شوط السحب ينفتح صمام السحب ويبدأ الهواء (أو الخليط) بالدخول الى الأسطوانة (شكل 3.27). في النصف الأول من هذا الشوط سرعة المكبس أعلى من سرعة الهواء الداخل للأسطوانة بسبب عزم القصور الذاتي للهواء (عزم القصور الذاتي هو المقاومة للتغيير) والذي يحاول منع الهواء من الحركة. إلا أن انخفاض الضغط داخل الأسطوانة وتغلب الضغط الجوي عليه يقوم الأخير بدفع الهواء الى داخل الأسطوانة. إلا أن سرعة المكبس تستمر بالازدياد لتصل إلى القيمة القصوى عند منتصف الشوط تقريباً أو بعده بقليل. ثم تبدأ سرعته بالانخفاض في النصف الثاني من الشوط ويزداد الانخفاض بالسرعة كلما أقترب المكبس من النقطة الميتة السفلى.

في النصف الثاني من الشوط تصبح سرعة الهواء أكبر من سرعة المكبس لأن الهواء أكتسب استمرارية. وبوصول المكبس إلى النقطة الميتة السفلى تصبح سرعته صفراً ثم يغير أتجاه حركته ويبدأ بالصعود الى الأعلى في شوط الضغط إلا أن صمام السحب يبقى مفتوحاً ويستمر الهواء أو الخليط بالدخول الى الأسطوانة بسبب الاستمرارية. وعندما يقطع المكبس مسافة كافية داخل الأسطوانة في شوط الضغط والتي تساوي تقريباً في بعض المحركات 45^0 من دوران عمود المرفق وفي البعض الآخر 50^0 وفي بعض الأحيان 65^0 يرتفع الضغط داخل الأسطوانة بما فيه الكفاية مسبباً دفع جزء من الهواء أو الخليط خارج الأسطوانة وعند هذه اللحظة يغلق صمام السحب. وهذا يعني أن صمام السحب يغلق متأخراً عن لحظة غلقه النظرية بمقدار 45^0 أو أكثر وهذه الفترة تساوي الربع الأول من شوط الضغط.



شكل (3.27) : الأشواط الأربعة لمحرك الديزل

عند انتهاء شوط الضغط تتولد الشرارة في محركات الاحتراق بالشرارة (البترين) أو يحقن الوقود بواسطة الحاقنات في محركات الديزل (شكل 3.27). عندها يحترق الوقود ويرتفع الضغط بصورة كبيرة مسبباً نزول المكبس الى الأسفل بسرعة عالية بادئاً شوط القدرة. وقبل وصول المكبس إلى النقطة الميتة السفلى وبمقدار 45^0 أو أكثر من دوران عمود المرفق ينفتح صمام العادم لغرض استغلال ما تبقى من ضغط داخل الأسطوانة نتيجة حرق الوقود بدفع جزء من العادم خارج الأسطوانة قبل ان يغير المكبس اتجاه حركته الى الأعلى. فضلاً عن ذلك تؤدي عملية التبكير بفتح صمام العادم الى عدم تعرض المساحة الكلية للأسطوانة للعادم الساخن والذي يسبب رفع درجة حرارتها ومن ثم حرارة المحرك كما تنخفض الطاقة التي يستهلكها المكبس بطرد ما تبقى من العادم داخل الأسطوانة بسبب انخفاض مقاومته. إن السبب في استغلال الضغط المتبقي في

الثلث الأخير من شوط القدرة بطرد جزء من العادم وهو انخفاض قيمته بشكل كبير والذي لا يمكن الاستفادة منة بدفع المكبس الى الأسفل لهذا يستغل للأغراض التي ذكرت سابقاً.

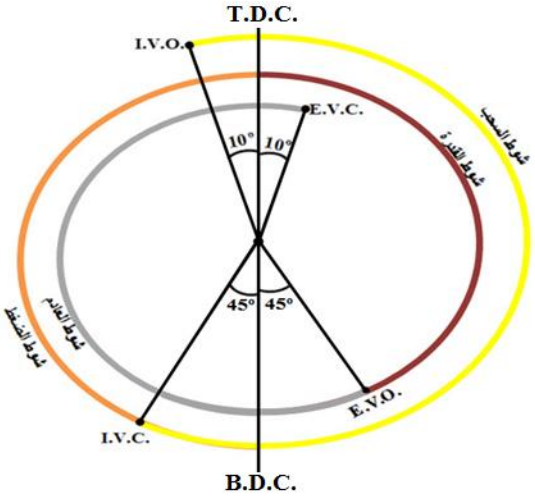
وعند وصول المكبس إلى النقطة الميتة السفلى تصبح سرعته فيها صفراً ويغير اتجاهه ليندفع باتجاه النقطة الميتة العليا طارداً ما تبقى من عادم داخل الأسطوانة إلى الخارج. ونتجه اندفاع العادم الى الخارج يكتسب استمرارية هو الآخر أيضاً وتزداد هذه الاستمرارية مع تقدم المكبس نحو النقطة الميتة العليا. هذه الاستمرارية تؤدي إلى خروج العادم بسرعة عالية مما يؤدي إلى انخفاض الضغط في غرفة الاحتراق بالقرب من صمام السحب (الجهة المقابلة لصمام العادم). يُستغل هذا الانخفاض بالضغط بفتح صمام السحب مبكراً وبمقدار 10^0 قبل وصول المكبس إلى النقطة الميتة العليا وفي بعض المحركات تصل الى 25^0. يندفع الهواء أو الخليط داخل الأسطوانة فيزيح العادم باتجاه صمام العادم ليحل محلة وهذا يساعد على أخراج جزء من العادم إلى الخارج (يساعد في تنظيف الأسطوانة من العادم). وعند وصول المكبس إلى النقطة الميتة العليا يغير أتجاه ويترل الى الأسفل بادئاً شوط السحب إلا أن صمام العادم يبقى مفتوحاً لإخراج أكبر كمية من العادم. وعندما يقطع المكبس مسافة مقدارها 10^0 أو أكثر من دوران عمود المرفق عندها يصل الهواء أو الخليط إلى صمام العادم ولمنع خروجه مع العادم يغلق صمام السحب عند تلك اللحظة.

وهذا يعني أن شوط السحب يأخذ 10^0 من شوط العادم و 45^0 من شوط الضغط وعندها تصبح فترته الفعلية 235^0 من دوران عمود المرفق أما شوط العادم فيأخذ 10درجات من شوط السحب و45^0 من شوط القدرة وبذلك تصبح فترته الفعلية 235^0 من دوران عمود المرفق (شكل 3.28). ونتيجة هذه الزيادة بفترتي الشوطين فأن كلا الصمامين يبقيان مفتوحان ولفترة 20^0 من دوران عمود المرفق وفي بعض المحركات يصل التداخل بينهما الى $46-50^0$ أي كل صمام يأخذ من الاخر بحدود $23-25^0$. يتم هذا التداخل بين شوطي السحب والعادم نتيجة التداخل بين كامتي الصمامين ويمكن ملاحظة ذلك من الشكل (3.29). إذ يمثل التداخل (overlap) بين الكامتين زاوية التداخل بين الشوطين في الأسطوانة الواحدة. إذ ينفتح صمام السحب من نقطة الفتح (Intake open) وقبل نقطة غلق صمام العادم (Exhaust closes) وتستمر عملية التداخل الى أن يغلق صمام العادم عند النقطة المذكورة. في بعض المحركات طول شوط العادم أكبر من شوط السحب لغرض اخراج أكبر كمية من العادم لأن تأثير العادم

على أداء المحرك كبيراً بسبب حرارته العالية فضلاً عن أنه يؤدي الى اختناق المحرك (شكل 3.30). طول شوطي السحب والعادم الفعليين يوضحهما الشكل (3.31).

يعتمد تحديد موقعي (نقطتي) فتح صمامي السحب والعادم وموقعي غلقهما على ما يلي:

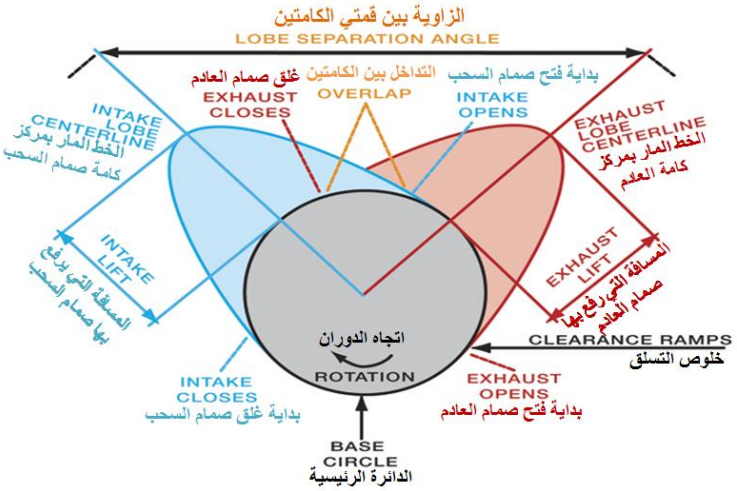
1. سرعة العادم داخل أنبوب العادم والتي بدورها تعتمد على سرعة المحرك وطول وقطر أنبوب العادم وقابلية مخمده الصوت على منع العادم من الاندفاع الى الخارج بسرعة.
2. الضغط داخل أنبوب توزيع الهواء أو الخليط على أسطوانات المحرك (manifold) والذي يعتمد على سرعة المحرك وفتحة صمام الخنجرة إذا كان المحرك من نوع البترين.
3. موقع الصمامات بالنسبة إلى غرفة الاحتراق وموقعها الى بعضها البعض.



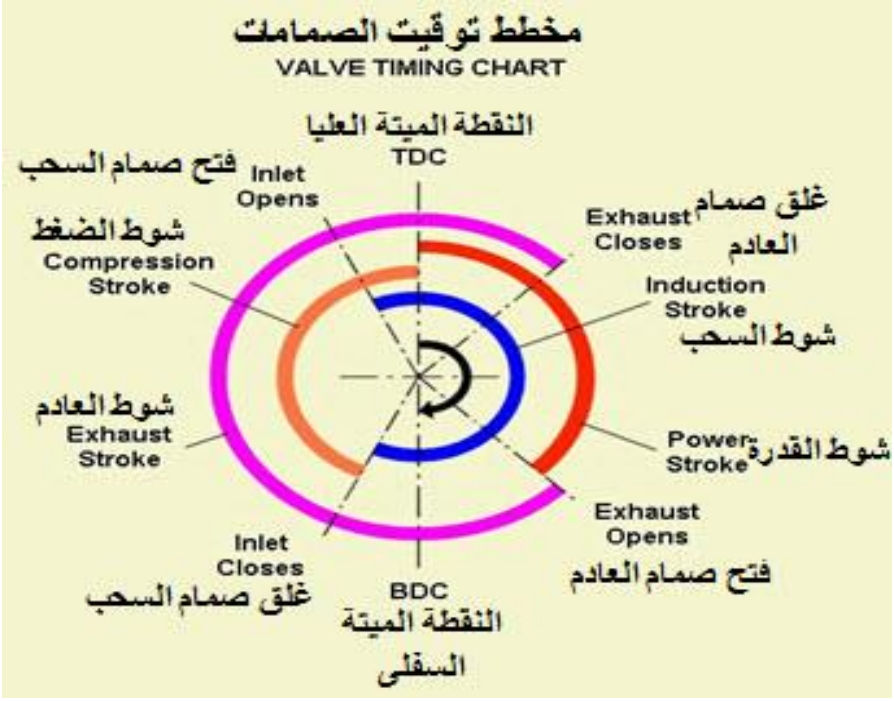
شكل (3.28) **: نقاط فتح وغلق صمامي السحب والعادم (الفترة الزمنية لفتحهما متساويتان)**

يطلق على مواقع (نقاط) فتح وغلق صمامي السحب والعادم (شكل 3.28) كما يلي:

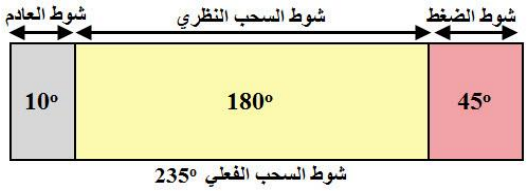
نقطة فتح صمام السحب المتقدمة	Inlet valve opening lead (i.v.o)
نقطة فتح صمام العادم المتقدمة	Exhaust valve opening lead (e.v.o)
نقطة غلق صمام السحب المتأخرة	Inlet valve closing lag (i.v.c.)
نقطة غلق صمام العادم المتأخرة	Exhaust valve closing lag (e.v.c)

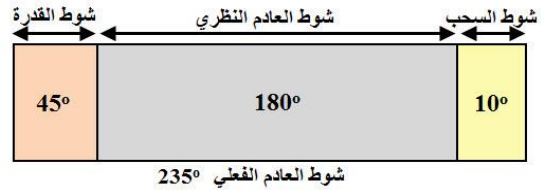


شكل (3.29) **: التداخل بين كامتي صماما السحب والعادم للأسطوانة الواحدة**



شكل (3.30) **: مواقع فتح وغلق صمامي السحب والعادم للمحركات التي فيها شوط العادم أطول من شوط السحب**





شكل (3.31) **: الطولين الفعليين لشوطي السحب والعادم**

❖ 3.16 وضع علامات توقيت على المحرك

لوضع علامات توقيت على المحرك الذي لا يحتوي على هذه العلامات تتبع الخطوات الآتية:

1. تفتح شمعة القدح أو حاقنة الوقود في الأسطوانة رقم (1) في محركات البترين أو الديزل.
2. يدوّر المحرك مع عقرب الساعة فعندما ينفتح صمام السحب في الاسطوانة (1) فأنها في شوط السحب وعند الاستمرار بالدوران يبدأ صمام السحب بالانغلاق وعندما يغلق بصورة تامة ينتهي شوط السحب ويبدأ شوط الضغط (كلا صمامي السحب والعادم مغلقان).
3. يوضع عمود خشب مستقيم داخل الاسطوانة بحيث يستند العمود على المكبس وبصورة عمودية ويستمر تدوير المحرك عندها يصعد العمود الى الاعلى ثم يبدأ بالنزول الى الاسفل عندها يوقف تدوير المحرك لأن المكبس تجاوز النقطة الميتة العليا ونزل الى الأسفل بشوط القدرة.
4. يدوّر المحرك الآن عكس عقرب الساعة عندها يصعد عمود الخشب الى الأعلى ثم ينزل وهذا يعني أن المكبس عاد الى شوط الضغط. عند نزول العمود الى الأسفل بمسافة واحد سنتمتر (1cm) تقريباً توضع علامة واضحة على عمود الخشب وعلى نقطة واضحة على رأس الأسطوانات تقابل العلامة على عمود الخشب (متطابقة معها). كما توضع علامة واضحة على الدولاب الطيار أو البكرة المثبتة على مقدمة

عمود المرفق وتوضع علامة على جسم المحرك تتطابق مع تلك الموجودة على الدولاب الطيار أو على البكرة الموجودة في المقدمة.

5. يدوّر المحرك مرة أخرى مع عقرب الساعة عندها يصعد العمود الى الأعلى وعندما يتجاوز المكبس النقطة الميتة العليا يترل الى الأسفل بشوط القدرة ويترل العمود الى الأسفل منه وعندما تتطابق العلامة الموجودة على العمود مع تلك الموجودة على رأس الاسطوانات يوقف المحرك وتوضع علامة جديدة على الدولاب الطيار أو البكرة في مقدمة المحرك.
6. تقسم المسافة بين العلامتين الموجودتين على الدولاب الطيار او البكرة الى نصفين وتوضع علامة جديدة في المنتصف. فعندما توضع العلامة الموجودة بالمنتصف أمام العلامة الموجودة على جسم المحرك يصبح مكبس الاسطوانة رقم (1) في النقطة الميتة العليا وفي نهاية شوط الضغط.
7. توضع علامتان على المسنن الموجود على عمود المرفق والذي ينقل الحركة الى عمود الكامات وتوضع علامة واحدة على مسنن عمود الكامات بحيث تقع وسط العلامتين اللتين وضعتا على المسنن الموجود على عمود المرفق. وبهذا يتم توقيت المحرك بصورة صحيحة.